Digitized by Google

Math. a. 175 e

Morigno.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

RÉPERTOIRE

D'OPTIQUE MODERNE.

Digitized by Google

PARIS. — IMPRIMERIE DE WITTERSHEIM,
8, RUE MONTMORENCY.

Digitized by Google

RÉPERTOIRE

D'OPTIQUE MODERNE

OU

ANALYSE COMPLÈTE DES TRAVAUX MODERNES RELATIFS
AUX PHÉNOMÈNES DE LA LUMIÈRE,

PAR

M. L'ABBÉ MOIGNO,

Aumônier du Lycée Louis-le-Grand,
Auteur des Leçons de Calcul différentiel et intégral,
Membre de l'Académie de Nancy, de la Société orientale, etc., etc.

Troisième Partie.

PARIS,
A. FRANCK, RUE RICHELIEU, 69.

1850

Digitized by Google

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Digitized by Google

PRÉFACE.

Les recherches relatives aux phénomènes de la lumière ont été si nombreuses et si importantes dans les trois années qui viennent de s'écouler, que nous nous voyons forcé d'ajouter un quatrième volume à notre Répertoire d'optique moderne. Nous ne nous sommes aperçu de cette nécessité, qu'alors que nous mettions la dernière main à ce long travail en analysant les mémoires de décembre 1849. Au reste, nous l'espérons du moins, les physiciens qui en si grand nombre ont acheté nos deux premiers volumes, et qui ont daigné nous féliciter de nos consciencieuses analyses, ne regretteront pas cette augmentation inattendue de matériaux précieux. Ils se réjouiront avec nous des progrès vraiment étonnants que l'optique, la plus belle des sciences, fait chaque jour en France et à l'étranger. Nous avions compris avant tout qu'un répertoire n'a de mérite qu'autant que, absolument complet, il donne l'état actuel ou ce qu'on pourrait appeler l'à-jour de la science, et nous nous étions résigné d'avance à ce surcroît d'études fatigantes quelquefois à l'excès.

L'intérêt de cette troisième partie l'emporte, il nous semble, sur ses deux aînées, par la nouveauté des recherches qu'elle renferme. Nous signalerons surtout à nos lecteurs, en outre de l'analyse complète des mémoires relatifs aux rayons chimiques et phosphorogéniques du spectre solaire, l'exposé complet des belles expériences, des découvertes brillantes de M. Faraday, relatives à l'action du magnétisme sur la lumière; les observations si originales de M. Plücker, relatives à la direction des axes optiques des cristaux sous l'influence des aimants ou des courants voltaïques; le mémoire curieux de M. Neef sur l'apparition constante de la chaleur au pôle positif, de la lumière au pôle négatif de la pile. Lundi dernier, 7 janvier, nous avons pu constater de nouveau cette admirable répartition de la lumière et de la chaleur. M. Jules Dubosc,

Digitized by Google

gendre de M. Soleil, essayait un nouvel appareil modérateur et fixateur de la lumière électrique, en répétant devant un grand nombre de spectateurs, au nombre desquels se trouvaient MM. Soubeiran et Silberman aîné, la série presque complète des expériences fondamentales de l'optique. Cinq ou six fois, coup sur coup, nous avons interrompu le courant en éloignant les charbons, pour le rétablir en les rapprochant. A chaque nouveau contact, la lumière primitive blanche se montrait sur le charbon placé au pôle négatif: celui-ci, avant que la combustion commençât, était seul éclairé, pendant que le charbon placé au pôle positif restait obscur. Mais bientôt après le rétablissement du courant, la combustion commençait au pôle positif; le charbon placé à ce pôle se creusait en brillant d'une lumière beaucoup plus éclatante que celle émise par le pôle négatif. La proposition fondamentale de M. Neef est donc pour nous un grand fait acquis à la science et dont on ne s'est pas encore assez préoccupé. D'ailleurs, l'appareil de M. Jules Dubosc est vraiment parfait; les variations de la lumière électrique, autrefois si mobile, restaient insensibles même à travers une lentille dont on se servait pour projeter les lignes d'interférence des miroirs de Fresnel. Nous recommandons vivement ce bel instrument aux amateurs d'expériences qui ne laissent absolument rien à désirer.

Nous avons condensé dans le plus petit nombre de pages possible tout ce que l'on savait relativement à l'action de la lumière sur les plantes, de manière à en faire une sorte de traité complet.

Nous recommandons encore d'une manière toute spéciale aux physiciens amis du progrès le beau mémoire de M. Doppler, relatif à l'influence que le mouvement des corps sonores et lumineux, ou le mouvement de l'observateur, exercent sur le ton du son ou la couleur de la lumière émise.

Les recherches de MM. Fizeau, Drapper, Müller, de Fribourg, Mosotti, Miller, Brewster, méritent aussi une attention sérieuse.

Paris, ce 15 janvier 1850.

Digitized by Google

RÉPERTOIRE
D'OPTIQUE MODERNE.

TROISIÈME PARTIE.

SECTION HUITIÈME.

DE LA LUMIÈRE CONSIDÉRÉE DANS SON ACTION SUR DES APPAREILS AUTRES QUE L'ŒIL, SUR DES SUBSTANCES DIFFÉRENTES DE LA RÉTINE. — DE LA NATURE PLUS INTIME DU SPECTRE SOLAIRE.

Suite.

Avant d'exposer les recherches relatives aux images thermographiques, annonçons que M. Niepce de St.-Victor, neveu de l'illustre Niepce, le véritable inventeur de l'héliographie, a fait tout récemment, dans la mine ouverte par M. Moser, une découverte éminemment originale et brillante. Il a trouvé que l'iode avait la propriété de se porter sur les noirs d'une gravure, d'une écriture, etc., à l'exclusion des blancs. Une gravure est soumise à la vapeur d'iode pendant cinq minutes environ, à une température de 15 à 20 degrés; on applique ensuite cette gravure sur du papier collé à l'amidon, en ayant soin de le mouiller préalablement avec une eau acidulée à 1 degré d'acide sulfurique. Les épreuves, après avoir été pressées avec un tampon de linge, présentent un dessin d'une admirable pureté.

M. Niepce a trouvé le moyen de reproduire par le même procédé toute espèce de dessin fait à l'encre grasse ou aqueuse, à l'encre de Chine ou à la mine de plomb.

Mais voici une seconde propriété non moins merveilleuse : la vapeur d'iode se porte sur les dessins en relief, et sur tous les corps qui offrent des tranches, quelles qu'en soient la couleur et la composition.

Ainsi tous les timbres secs sur papier blanc se reproduisent parfaitement.

Les tranches d'une bande de verre ou de marbre se reproduisent également ; les mêmes effets ont lieu avec d'autres fluides élastiques, gaz ou vapeurs, tels que la fumée du phosphore brûlant à l'air et la

Digitized by Google

vapeur d'acide azotique ; si, après avoir collé un morceau de bois blanc et un morceau d'ébène, on les rabotte, et qu'après avoir soumis l'ensemble à la vapeur d'iode, on l'applique sur une plaque de cuivre, la bande noire seule se reproduit.

Une plume d'oiseau présentant du noir et du blanc, comme celles des ailes de la pie, soumise à la vapeur d'iode, produit le même effet que le morceau de bois noir et blanc.

Tous ces phénomènes se manifestent dans l'obscurité la plus grande que l'on puisse obtenir, anssi bien que dans le vide.

Le chlore produit le même effet que l'iode, mais beaucoup plus faiblement. Le brome ne produit rien.

Le mémoire de M. Niepce de St-Victor n'est pas encore publié ; nous n'entrerons donc pas dans de plus grands détails : ce beau travail trouvera sa place dans la dernière partie de notre répertoire ; nous l'insérerons en entier avec un curieux appendice sur l'heureux emploi que l'auteur a tiré de l'albumine pour obtenir sur verre des épreuves négatives d'une admirable finesse de trait, et pouvant donner un nombre indéfini d'épreuves positives parfaites.

IMAGES THERMOGRAPHIQUES OU PRODUITES PAR LA CHALEUR.

I. *Lettre de M. Knorr à M. Arago.* Kasan, 6 janvier 1842.

« Ce fut l'an passé, au commencement d'octobre, que j'eus la première nouvelle de la découverte de M. le professeur Moser. Faisant un pas de plus, je voulus m'assurer si la différence des températures ne jouait pas un rôle essentiel dans les phénomènes de ce genre, et j'eus bientôt établi que plus la différence entre les températures de la plaque et du corps qui doit s'y peindre est grande, plus la formation de l'image est rapide. Si cette différence s'élève à 56° c., il suffit de trois à cinq secondes pour obtenir une image parfaitement distincte ; on peut même alors produire des images par une demi-seconde de contact entre les deux corps. Ayant remarqué qu'à mesure que la différence de température devenait plus considérable, il était plus facile de rendre les images visibles par l'insufflation, je poursuivis mes recherches, et je finis par m'assurer qu'en augmentant la différence de température on parvient à former des images visibles immédiatement et sans aucune condensation de vapeurs. Ce sont ces images immédiatement

Digitized by Google

visibles (que l'on peut aussi produire d'une autre manière) que j'appelle images par la chaleur ou thermographies. Il semble que c'est moins à la différence qu'en général à l'élévation même de la température que leur formation est due. Je me suis servi jusqu'ici de trois moyens différents pour les produire, et j'en ai obtenu un bon nombre dont la finesse et la beauté ne laissent rien à désirer.....

» Voici comment nous avons obtenu nos termographies. Sur la flamme d'une lampe à alcool de Berzélius, on plaça une lame mince de cuivre d'environ 20 pouces carrés de surface, puis, sur cette lame, des plaques de 5 pouces carrés qui devaient recevoir l'image, et, par-dessus, les corps qui devaient la donner. C'était ordinairement un coin d'acier gravé, un cachet en jaspe, un petit cachet d'acier, des monnaies de platine nettoyées avec soin, et deux planches gravées, en cuivre, différentes l'une de l'autre. Le tout fut ensuite élevé assez doucement à la température où une lame de cuivre bien polie commence à changer sensiblement de couleur; puis la lampe fut éteinte et les corps retirés de dessus la plaque. Mon collaborateur, M. Massig, a obtenu ainsi un assez bon nombre d'images souvent si belles, surtout sur des plaques de cuivre, que je regrettais d'être obligé de les effacer pour soumettre les plaques à de nouvelles expériences. L'épaisseur de ces plaques était ordinairement de 1/6 de ligne ; mais on a employé avec le même succès des plaques de 1/2 ligne d'épaisseur. La durée de l'échauffement était, terme moyen, de 8 à 10 minutes, le minimum étant de 3 et le maximum de 16. Il était du reste indifférent que l'élévation de température passât de la plaque au corps, ou du corps à la plaque, pourvu qu'on atteignît le degré de chaleur nécessaire. Nos plaques étaient habituellement en cuivre, mais nous avons obtenu plusieurs bonnes épreuves sur du cuivre plaqué d'argent et sur du laiton ; la seule plaque d'acier que j'eusse à ma disposition n'était pas bien polie, ce qui n'empêcha pas que le coin d'acier n'y produisît une image vraiment passable. Pourtant ces images par la chaleur (car je crois que c'est là leur vrai nom) n'étaient jamais plus belles que sur des plaques de cuivre : elles présentaient des jeux de couleurs extrêmement intéressants, et que je n'ai pu reproduire par une simple élévation de température. Elles méritent assurément d'être examinées de plus près par un chimiste....

» J'ai obtenu aussi, par le moyen déjà mentionné, des copies de

Digitized by Google

gravures sur cuivre et sur bois; il est vrai qu'elles ne sont pas belles, mais du moins elles sont parfaitement distinctes. Une copie d'une gravure sur bois prise sur du laiton, et que j'ai soumise ensuite à d'autres essais, se présentait fort bien. Une autre copie de la même gravure, prise sur du cuivre, offrit une particularité remarquable : la gravure représentait Minerve sur son trône; dans l'image, les lignes obscures de la figure de Minerve étaient rendues par des lignes d'une couleur différente de celle du fond de la plaque; pour le trône, c'était précisément l'inverse....

» Dans les images de Moser, comme dans celle que je produis par la chaleur, il faut distinguer plusieurs degrés de développement. Dans celles de Moser, le degré de développement influe sur la condensation des vapeurs et sur la durée de l'image en général; dans les miennes, il influe tant sur la durée de l'image que sur la manière dont elle se comporte quand on échauffe la plaque sur laquelle elle a pris naissance.

» A la température constante de 0° commune aux plaques et aux corps dont on veut l'image, on n'obtient cette image que difficilement, et même il me paraît douteux qu'on puisse l'obtenir.

» L'expérience suivante conduit à un résultat contraire; mais je ne l'ai faite encore qu'une fois.

» Je mis un coin d'acier sur la lame sous laquelle se trouvait la lampe, je chauffai durant quatre minutes, je plaçai une plaque d'argent polie à côté du coin, et continuai à chauffer pendant trois minutes; je mis ensuite le timbre chaud sur la plaque chaude et je chauffai encore une minute; j'obtins de la sorte une image durable et très-nette. Je plaçai aussitôt le coin sur une autre partie de la plaque d'argent, et après cinquante secondes de chaleur j'obtins le même résultat. Mis sur une troisième partie de la plaque et chauffé encore durant quarante secondes, le coin donna une troisième image permanente, mais plus faible que les deux autres. »

» II. *Seconde note de M. Knorr.* — Je suis parvenu à réunir dans une seule proposition le plus grand nombre des faits que j'ai trouvés, sauf quelques-uns que je ne peux pas encore envisager sous un point de vue général. Cette proposition est la suivante :

» Quand un corps A se trouve au contact ou du moins très-rapproché de la surface polie d'un autre corps B, l'échange mutuel de la

Digitized by Google

chaleur entre les deux corps produit un changement de l'état de la surface polie jusqu'à une très-petite profondeur. Ce changement peut être passager ou devenir permanent. S'il y a sur la surface du corps A des endroits pour lesquels l'échange de la chaleur est différent de ce qui s'opère dans les autres endroits, il y aura aussi un changement différent dans les endroits correspondants de B, et il se forme ainsi une espèce d'empreinte du corps A sur la surface polie B. Cette empreinte peut être immédiatement visible, ou seulement elle peut être rendue visible par une condensation de vapeurs qui, pour ainsi dire, achèvent alors son développement. En admettant que l'échange total de la chaleur entre les deux corps, pendant un certain intervalle de temps, puisse être représenté par une quantité, il existe une certaine limite que cette quantité doit surpasser, dans un temps donné, pour qu'en général il se forme une empreinte, et une seconde limite, que cette quantité doit surpasser pour que l'empreinte devienne immédiatement visible sans aucune condensation de vapeurs. Ces deux limites paraissent dépendantes des propriétés des deux corps A et B et de l'état de la surface polie. En nommant empreintes ou images du premier ordre celles qui ne deviennent visibles que par la condensation des vapeurs, et images du second ordre, celles qui se montrent immédiatement visibles, il faut encore pour chaque ordre, distinguer des degrés différents du développement de l'image. Pour les empreintes du premier ordre, celles découvertes par M. Moser, le degré du développement exerce une influence sur la condensation des vapeurs, ainsi que sur la solidité de l'empreinte même. Pour les images du second ordre, mes thermographies, la solidité et la permanence de l'empreinte, ainsi que l'influence qu'exerce un changement de température, dépendent du degré de développement. Ni la lumière du jour, ni les changements ordinaires de la température, ni même un échauffement considérable, ne peuvent détruire une empreinte de second ordre, si son développement est avancé suffisamment; mais il y a un degré de développement où un échauffement peut détruire l'image, un autre où l'échauffement la détruit et la fait reparaître de nouveau, enfin un autre où un échauffement continue le développement et l'achève.

» Les corps que je comprends ici sous la désignation A ont été, dans mes expériences, des pièces frappées de platine d'or, d'argent,

Digitized by Google

de cuivre et de laiton gravé, d'acier, de jaspe et de verre gravés; des lames de mica sur lesquelles étaient tracées des lettres avec de l'encre de Chine, des gravures à contours un peu forts, imprimées sur du papier blanc ou coloré. De même, les surfaces polies que je désigne par la lettre B ont été, dans mes essais, des surfaces d'argent, de cuivre, de laiton et d'acier ; ce sont les seules avec lesquelles j'ai obtenu des résultats. Il m'a paru que j'ai réussi deux fois sur le mica, mais je ne veux pas l'assurer positivement. Le plus grand nombre d'essais ont été faits sur des surfaces d'argent et de cuivre. Les plaques qui servent au daguerréotype sont très-propres pour ces expériences; quand la surface argentée est déjà trop usée, on peut se servir de l'autre surface en cuivre en la décapant premièrement avec du charbon. Il n'est pas nécessaires de traiter les surfaces avec des acides, la simple polissure avec de l'huile est suffisante ; mais il faut prendre soin que la surface soit bien purgée d'huile. Avant chaque essai il est bon de décaper un tant soit peu la surface pour bien réussir, quoique cela ne soit pas toujours absolument nécessaire.

» Il m'aurait fallu des vases de feuilles métalliques très-minces pour mesurer les degrés de l'échauffement des plaques sur lesquelles se formaient les images; mais je n'ai pas pu me les procurer tout de suite.

Cependant, afin d'avoir une indication sur l'échauffement nécessaire pour obtenir une thermographie, j'ai agi de la manière suivante. J'ai pris deux petites bouteilles sur le fonds desquelles étaient gravés les mots : Tara, 1378 3/4 grains; leur diamètre était de 19 lignes françaises, et l'épaisseur du fond 1 1/4 ligne française; leur capacité correspondait à 609 grammes d'eau distillée; je les ai remplies de 180 grammes d'eau à la température de 14° Réaumur, et je les ai mises sur la surface argentée d'une plaque préparée pour le daguerréotype, que j'échauffais sur une autre plaque métallique par une lampe à double courant d'air. L'ébulition de l'eau ayant été entretenue pendant une minute, il s'était formé une empreinte des mots gravés sur le fond qui était parfaitement développée. L'expérience a été répétée douze fois avec le même succès; mais cet échauffement n'était pas suffisant pour des corps bons conducteurs. Sur des surfaces de cuivre je n'obtenais ainsi que de mauvaises empreintes.

Digitized by Google

» De ce que je viens de dire, il résulte déjà une méthode pour obtenir une thermographie, c'est celle par laquelle j'ai toujours réussi; il n'y faut qu'un peu d'exercice : les quatre autres méthodes sont moins sûres, et je ne connais pas encore toutes les circonstances dont la réussite dépend.

En général, il faut porter la température t des deux corps A et B qui se touchent à la température t' pendant un certain temps θ, pour que l'échange de la température produise une empreinte, cependant θ ne doit être ni trop grand, ni trop petit; mais chaque méthode parait applicable, quand elle produit à peu près le même échange total de chaleur; et θ et t' ne sont pas entièrement indépendants l'un de l'autre. Il en résulte donc les méthodes suivantes :

» Première méthode de l'échauffement déjà cité, $\theta = 10$ à 15 minutes, si B était cuivre ou argent. Quand la flamme de la lampe était forte, $\theta = 4$ minutes se montrait déjà suffisant; mais il est mieux de ne se pas hâter trop.

» Deuxième méthode de refroidissement : l'inverse de la précédente un peu difficile, mais j'ai réussi.

» Troisième méthode d'échauffement et de refroidissement réunis : elle exige un peu plus d'exercice que le numéro 1. J'ai obtenu une dizaine de bonnes images de verre et de jaspe sur des plaques de cuivre en ne portant la température que jusqu'à 60 degrés Réaumur. Elle mérite d'être perfectionnée ; j'ai été forcé de la négliger pour le moment, mais il m'a paru que cette méthode n'était avantageuse que pour les mauvais conducteurs.

» Quatrième méthode de l'échauffement continué, en mettant le corps sur la plaque chaude et en continuant l'échauffement. J'ai obtenu une vingtaine de bonnes empreintes d'acier sur des surfaces d'argent; sur du cuivre, elle ne réussit pas bien, parce que ce métal s'oxide trop tôt. Durée de l'échauffement préalable sur la plaque de la lampe, 3 à 4 minutes; durée du contact, 10 à 20 secondes.

» Je n'ai pas toujours réussi par cette méthode.

» Cinquième méthode des hautes différences de température ou méthode du contact très-court, en touchant la plaque froide avec le corps très-chaud. Durée du contact, 8 à 15 secondes; la température du corps entre celle de l'eau bouillante et celle où l'acier poli com-

Digitized by Google

mence à changer de couleur, J'ai obtenu par cette méthode plus de 60 images, mais je ne pourrais pas dire pourquoi on ne réussit pas toujours. Cette méthode est la première que j'ai découverte.

» En général, je ne me suis pas occupé du perfectionnement pratique de ces différentes méthodes, il y avait d'autre chose qui devaient m'occuper préalablement. Je remarque encore qu'il ne faut pas perdre de vue la condition d'inégalité d'échange de la chaleur ; là où une telle inégalité ne se montre pas suffisamment, on peut la produire par de l'encre de Chine, du vernis, ou même du tripoli de Venise. C'est pourquoi il faut aussi souvent nettoyer les plaques de cuivre gravées, de l'oxide qui se forme à leur surface, ou l'acier gravé quand sa surface montre déjà la couleur jaunâtre. Pour les méthodes numéros 1, 3, 4, il m'a paru indifférent que l'échauffement se fit à travers le corps A ou à travers B ; il fallait seulement arriver à un certain degré pendant un temps pas trop prolongé. La grandeur de mes plaques ne surpassait jamais 5 pouces carrés.

» J'ai obtenu beaucoup d'épreuves qui, en précision et netteté, ne laissent rien à désirer ; mais le cuivre, l'acier et le jaspe gravés m'ont paru les plus propres aux thermographies ; cependant il faut remarquer que les détails intérieurs du dessin ne s'expriment pas, s'il est un peu profondément incisé.

III. *Troisième note de M. Knorr.* — Amené à penser que l'accès, ou du moins la présence d'une couche d'air entre la plaque et le corps, était indispensable à la formation des images thermographiques, M. Knorr a fait à ce sujet diverses expériences curieuses qui confirment celles de M. Waidele : 1° Quand après avoir nettoyé parfaitement les plaques et les avoir placées dans un vase rempli d'eau, en superposant la pièce dont on voulait avoir l'image ; mais après une heure cette image ne se formait pas ; 2° dans le vide, sous la machine pneumatique, il ne se formait pas proprement d'image, mais seulement une sorte de tache. De plus, les corps qui avaient séjourné dans le vide pendant plusieurs jours, donnaient plus difficilement des images ; on leur rendrait leur finesse première en les recouvrant de tripoli, resté longtemps en contact avec l'air ; 3° les termographies pénètrent quelquefois à une grande profondeur dans les plaques de cuivre ou d'argent : M. Knorr a poli jusqu'à neuf fois une plaque d'argent ; à chaque nouvelle exposition à la chaleur, l'image repa-

Digitized by Google

raissait. C'est ce qui arrive aussi très-souvent aux pièces de monnaies frappées au moyen du balancier ; l'image, entièrement effacée par l'usage ou un poli artificiel, reparaît sous l'action de la chaleur, ou quand on s'en sert comme d'un élément de pile.

Sur la thermographie ou l'art de transporter, au moyen de la chaleur, les dessins et caractères imprimés du papier sur métal, par M. Robert Hunt. — M. Draper, en septembre 1840, avait déjà reconnu que si on met un objet en contact avec un métal, il s'opère à la surface du métal une certaine altération mystérieuse des molécules, en conséquence de laquelle les vapeurs s'y condensent inégalement.

» Pour obtenir de bons résultats en répétant les expérience de Moser, je trouve qu'il est nécessaire d'employer des métaux différents. Ainsi, une pièce d'or ou de platine sur une plaque de cuivre ou d'argent, donne une image bien prononcée tandis que le cuivre et l'argent n'en donnent que de très-faibles sur leur propres métaux. Pour avoir, par ce procédé, les plus fortes empreintes, il faut poser de mauvais conducteurs de la chaleur sur de bons.

» Sur une plaque de cuivre bien polie, je plaçai une pièce d'or (un souverain), une pièce d'argent (un shilling), une grande médaille d'argent, et une monnaie de cuivre (un penny) ; puis je chauffai la plaque par dessous au moyen d'une lampe à alcool, et après qu'elle fut refroidie, je l'exposai aux vapeurs du mercure. Chaque pièce avait produit son empreinte, mais celles de la monnaie d'or et de la grande médaille étaient les plus nettes.

» Une médaille de bronze fut, au moyen de lamelles de bois, placée sur une plaque de cuivre à la distance d'un huitième de pouce. Après l'action des vapeurs de mercure, la partie recouverte par la médaille était bien marquée, et tout au tour, à une distance considérable, le mercure s'était condensé inégalement, donnant ainsi à l'image un bord ombré. Les endroits touchés par le bois étaient recouverts d'une vapeur abondante.

» Les mêmes pièces et médailles furent mises toutes ensemble sur une autre plaque qu'on porta à une chaleur assez grande pour n'être plus supportable à la main, et sur laquelle on la laissa refroidir. Voici l'ordre des empreintes suivant leur force : l'or, l'argent, le bronze, le cuivre. La masse me sembla exercer sur le résultat une influence considérable ; une grande pièce de cuivre donnait une

Digitized by Google

empreinte plus nette que ne le faisait une petite pièce d'argent. L'exposition à la vapeur de mercure produisait les mêmes résultats que ci-dessus. La vapeur essuyée, les empreintes de l'or et de l'argent sur le cuivre se touvèrent permanentes.

» Cette expérience fut répétée avec une chaleur plus forte encore, et l'image de la monnaie de cuivre se reproduisit comme celle des autres monnaies avec la plus grande facilité ; mais les seules images de l'or et de l'argent furent permanentes.

» J'opérai ensuite avec une lame de cuivre argentée exposée à une chaleur modérée. Les vapeurs de mercure firent paraître de bonnes images des objets en cuivre et en or ; ceux en argent donnaient bien une image, mais peu distincte.

» Après avoir répété les expériences ci-dessus, toujours avec les mêmes résultats, je fus curieux de savoir si l'électricité agirait de la même manière. Je fis donc passer à travers et sur les plaques et les pièces de fortes décharges ; je les exposai aussi à l'action longtemps prolongée d'un courant, mais sans succès ; enfin, j'enlevai l'argent qui recouvrait ma plaque ; je la chauffai après y avoir mis les pièces et les médailles, et je la soumis aux décharges d'une très-grande bouteille de Leyde. Là-dessus les vapeurs mercurielles firent paraître de très-jolies empreintes, et, chose singulière, des images colorées de celles que la plaque avait reçues quand elle était argentée ; preuve que cette action, quelle qu'en soit la nature, avait exercé son influence jusqu'à une certaine profondeur dans le métal.

» Je mis sur une lame de cuivre des verres bleu, rouge, orange, du crown-glass et du flint-glass, du mica et un morceau carré de papier de dessin. Je les y laissai une demi-heure : l'espace recouvert par le verre rouge était bien tracé, la place du verre orangé se voyait moins distinctement, et celle du verre bleu n'était pas du tout visible. Les contours du crown-glass et du flint-glass se dessinèrent bien, et la trace du papier était d'une netteté remarquable ; mais celle du mica ne paraissait point.

» Après avoir exposé la plaque aux vapeurs du mercure, je la fis chauffer pour les chasser. Les empreintes demeurèrent néanmoins.

» En employant des vapeurs d'iode au lieu de vapeurs mercurielles, l'ordre des empreintes resta le même pour les verres ; mais le mica en produisit lui-même une fort belle ; celle du papier était aussi bien

Digitized by Google

prononcée. Il existe donc un certain rapport entre la nature de l'objet et celle des vapeurs que l'on emploie.

» Les verres déjà employés et un morceau de verre bien recouvert de noir de fumée, furent laissés pendant une demi-heure à une ligne de distance au-dessus d'une lame de cuivre polie : les vapeurs de mercure ne firent paraître que l'image du verre noirci.

» Tous ces verres furent mis sur le cuivre et faiblement échauffés ; après l'action des vapeurs, le verre rouge et le verre noirci donnèrent des images d'une netteté égale ; venait ensuite le verre orangé ; les autres ne laissèrent que de faibles indications de leurs formes. En polissant avec du tripoli et de la potée d'étain, on ne faisait pas disparaître les images du verre rouge et du verre noirci.

» On traça un dessin sur un verre recouvert d'un enduit et de noir de fumée, puis on le plaça sur du cuivre : il ne parut que l'image du verre.

» Une figure découpée dans du papier fut pressée contre une lame de cuivre au moyen d'un verre, puis chauffée doucement : les vapeurs de mercure firent paraître une très-belle empreinte. Essuyant les vapeurs, toutes les parties que le papier avait recouvertes se trouvèrent amalgamées, tandis que les autres abandonnaient facilement le mercure. Il en résulta sur la plaque de cuivre polie un dessin blanc parfaitement permanent.

» Les verres déjà mentionnés, plus un gros morceau de charbon de bois, une monnaie de cuivre, du mica et du papier furent mis sur une plaque de cuivre et exposés en plein soleil. Voici l'ordre des images que le mercure fit paraître : celle du verre noirci, du crown-glass, du verre rouge, du mica bien dessiné, du verre orangé, du papier, du charbon, de la pièce de monnaie, du verre bleu ; ce qui montre clairement qu'il n'y a que les rayons calorifiques qui influent sur le métal. Cette expérience fut répétée avec des métaux et des substances différentes et en exposant ces plaques aux vapeurs d'eau, de mercure et d'iode ; toujours j'ai trouvé que les substances qui absorbent davantage ou laissent mieux passer la chaleur donnent les meilleures images. Il est impossible de découvrir la moindre trace d'une action quelconque des rayons bleus et violets. Et comme les images produites sur papier photographique par les rayons qui ont traversé les verres de cette couleur fournissent la preuve qu'une

Digitized by Google

grande quantité de rayons invisibles les pénètre librement, nous pouvons regarder ces rayons comme absolument incapables de produire une altération dans un corps simple et compacte.

» Dans un travail que j'ai publié dans le *Philosophical Magazine* du mois d'octobre 1840, je parle de plusieurs cas dans lesquels j'ai pu copier sur papier ioduré des feuilles imprimées et des gravures, et cela uniquement en les exposant aux rayons d'une source artificielle de chaleur. Pensant que probablement on serait bientôt en état de copier les dessins par ce procédé, j'ai proposé de lui donner le nom de thermographie, pour le distinguer ainsi de la photographie.

» Je cherchai quel effet une feuille imprimée produirait sur une plaque de cuivre bien polie avec laquelle on la mettait bien en contact : après l'action de la vapeur mercurielle, je trouvai les contours transportés très-fidèlement sur ce métal.

» Un papier découpé fut serré entre deux lames de verre et chauffé ; sur le verre inférieur ou plus chaud on vit paraître une empreinte médiocre ; il y en avait à peine une trace sur l'autre.

» Des feuilles de rose laissèrent fidèlement leur image sur un plat d'étain exposé en plein soleil ; mais dans l'obscurité un contact plus long donna une empreinte plus parfaite.

» Pour déterminer à quelle distance les corps seraient encore copiés, je plaçai sur une plaque de cuivre polie un morceau assez épais de verre de glace ; sur ce verre un carré de métal et différents autres objets, chacun toujours plus grand que le précédent ; je recouvris le tout d'une boîte en bois qui se trouvait ainsi à plus d'un demi-pouce de la plaque. Je laissai les choses en cet état durant la nuit. Le lendemain, après l'exposition aux vapeurs mercurielles, chacun des objets se trouva copié, et le fond de la boîte plus fidèlement que les autres ; les veines du bois étaient reproduites sur la plaque.

» Comme j'avais trouvé, par une série d'expériences, que le papier noirci donne une empreinte plus forte que le papier blanc, je fus curieux de savoir si on pourrait copier les imprimés. Je réussis en partie sur plusieurs métaux ; mais je n'eus de bons résultats que lorsque j'employai du cuivre amalgamé d'un côté, puis parfaitement poli. En préparant avec soin la surface amalgamée du cuivre, je finis par être en état de copier des gravures sur cuivre et sur bois et des lithographies avec une exatitude surprenante. Les premières épreuves

Digitized by Google

montraient un fini de détails et une netteté de contours en tout semblables à celles des premières images daguerriennes et des copies par le chlorure d'argent.

» Voici le procédé dont je me sers actuellement, et que je ne regarde pourtant pas comme le meilleur, bien qu'il m'ait donné des images d'une grande délicatesse.

» On prend une plaque de cuivre bien polie, on la frotte avec du nitrate de mercure, puis on la lave avec soin pour faire disparaître tout le nitrate de cuivre qui s'est formé. Quand elle est bien sèche on prend un peu de mercure sur du cuir mou ou sur de la toile, on frotte bien la plaque et on donne à sa surface tout le poli d'un miroir. On étale doucement sur la surface amalgamée la feuille dont on veut la copie, et après l'avoir recouverte d'un ou deux morceaux d'un papier fin et mou, on la serre contre la plaque au moyen d'un morceau de verre ou d'une planche bien dressée, et quand elle touche partout également le métal, on la laisse une ou deux heures sous presse; on peut abréger ce temps de beaucoup en chauffant très-doucement pendant quelques minutes le dessous de la plaque; il ne faut en aucun cas que la chaleur soit assez grande pour que le mercure se vaporise; ce qu'il y a à faire ensuite, c'est de mettre la plaque dans une boîte fermée, disposée de manière à produire des vapeurs mercurielles; il faut que les vapeurs se dégagent lentement.

» Au bout de quelques secondes l'image commence à paraître; la vapeur attaque les parties qui, dans l'empreinte ou la gravure, correspondent aux blancs, et produit une image très-fidèle, mais peu prononcée; alors la plaque est transportée de la boîte à mercure dans une autre contenant de l'iode dont la vapeur ne doit agir sur la plaque que peu de temps. On voit bientôt que cette vapeur attaque et noircit les parties laissées libres par celle du mercure. Il en resulte conséquemment un dessin parfaitement noir sur un fonds gris de mercure. Ce dessin étant formé par les vapeurs du mercure et de l'iode, il se trouve naturellement dans le même état qu'une image de Daguerre, et ne résiste pas au frottement. La profondeur à laquelle l'empreinte pénètre le métal me donne lieu d'espérer que je pourrai donner à ces singulières et belles productions un degré de perfection assez avancé pour qu'elles puissent être utiles aux graveurs.

» C'est un fait assez remarquable que les vapeurs du mercure et

Digitized by Google

celles de l'iode attaquent différemment la plaque, et je crois qu'on pourra en déduire qu'il existe un certain rapport entre ces vapeurs et l'état chimique ou thermo-électrique des corps qui les reçoivent. M. Moser l'a observé et l'attribue aux couleurs des rayons, qui, à ce qu'il pense, existent latents dans la vapeur à son passage à une forme plus déliée. Je ne tiens pas cette explication pour conforme aux données de l'expérience. Je suis persuadé que nous avons affaire à une action thermale, et qu'on finira par trouver qu'un mouvement purement thermal produit une altération moléculaire, ou qu'il y a induction d'une action thermo-électrique qui donne lieu à un changement dans la polarité des derniers atomes du corps solide. Ce sont là des questions qui ne peuvent être résolues que par une série d'expériences bien conduites. Je ne renonce pas à toute recherche ultérieure; j'espère néanmoins que les quelques faits singuliers et importants que j'ai signalés exciteront l'attention de ceux que leur loisir et leur talent bien connu pour l'expérimentation mettent si éminemment à même de faire des recherches intéressantes sur l'action de ces agents mystérieux qui exercent une si puissante influence sur les lois de la création matérielle. »

Sur les prétendues images de chaleur, par M. Moser. — M. Moser s'étonne de voir MM. Knorr et Hunt présenter comme une découverte nouvelle, et sous des noms nouveaux, des faits qu'il a longuement décrits dans ses premiers mémoires, et dans la note sur la différence entre la lumière et la chaleur. A propos de cette différence, M. Moser cite un fait nouveau qui lui paraît tout-à-fait concluant. La chaleur, dit-il, rayonne de nouveau du sein des corps qui l'ont reçue, en supposant qu'elle ne s'y est pas combinée pour produire un changement chimique. La lumière, au contraire, qui a opéré à la surface des corps cette modification spéciale qui se manifeste par la condensation des vapeurs, ne rayonne plus au dehors, et l'on doit admettre qu'elle s'est éteinte après avoir produit son effet. M. Moser a très-souvent essayé de transporter d'une plaque à l'autre l'effet produit par la lumière ; en employant tantôt des plaques impressionnées, mais sans image visible ; tantôt des plaques métalliques sur lesquelles la lumière invisible avait imprimé une image très-distincte. Il n'a jamais rien obtenu. J'avoue franchement que ce raisonnement de M. Moser n'est au fond qu'un enfantillage. La chaleur, en péné-

Digitized by Google

trant un corps, y excite un mouvement vibratoire plus ou moins intense, plus ou moins durable, et qui réagit nécessairement au dehors. Dans les phénomènes de la photographie, la lumière exerce seulement à la surface un effet mécanique et de transmission, sans mettre en général en vibrations persistantes l'éther de la plaque, qui alors ne réagit plus. Mais il est des circonstances oubliées par M. Moser, celles, par exemple, qui déterminent la phosphorescence, et dans lesquelles la lumière absorbée par le corps rayonne au dehors absolument comme dans la chaleur. Le moins qu'on puisse attendre de celui qui établit une comparaison, c'est qu'il rapproche les analogues. Mais c'est assez nous arrêter à une note sans intérêt.

IMAGES ÉLECTROGRAPHIQUES, OU OBTENUES PAR L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ.

Pour donner nne idée plus exacte de ce genre de phénomènes et mettre mieux en évidence les droits de chacun, nous avons cru devoir remonter jusqu'au mémoire si remarquable et si peu connu de M. Riess. La découverte des images atmo-électriques appartient surtout à l'illustre physicien de Berlin. MM. Karsten, Masson, Morren, ont suivi avec plus ou moins de bonheur la route qu'il avait ouverte devant eux.

Note sur les modifications de la surface du verre, du mica et d'autres substances par la décharge électrique, figures atmo-électriques; par Pierre Riess. (Annales de Poggendorf, vol. XLVI, p. 489.) — » Une glace ou miroir de verre nettoyée avec soin et chauffée, de telle sorte qu'éprouvée au moyen de l'électromètre, elle se montrait parfaitement isolante dans toutes les directions, fut placée entre les deux extrémités des fils conducteurs fixés aux pôles d'une batterie. Quand, dans la décharge, une étincelle vint frapper chacune des deux faces de la glace pour serpenter ensuite jusqu'aux bords, on aperçut ces traces bien connues dont l'aspect mat annonce suffisamment une décomposition du verre. Essayées à l'électromètre, ces parties mates se trouvèrent conductrices, ainsi que d'autres qui cependant étaient parfaitement miroitantes et n'avaient subi dans leur aspect extérieur aucune modification sensible. Toutes ces portions conductrices devenaient fort visibles quand on couvrait la plaque de l'haleine, en ce sens qu'elle ne condensait pas l'humidité; on voyait sur un fond

Digitized by Google

mouillé des dessins secs et non humides formés de lignes serpentantes de diverses formes, et que je désignerai sous le nom de figures atmo-électriques. Elles se montrent plus faciles à obtenir et généralement plus belles sur des lames minces de mica ; souvent alors il n'est pas nécessaire de recourir à l'étincelle résultant d'une décharge complète, c'est assez des houppes de lumière bleue qui s'échappent de l'extrémité des pointes. On obtient ainsi des ramifications élégantes imitant le bois des cerfs, et qui, quelquefois, sont distribuées régulièrement à partir de la circonférence d'un cercle unique. Même après la décharge électrique la lame de mica isole dans toutes les directions.

» On serait tenté d'attribuer ces figures atmo-électriques à l'électricité apportée sur le verre ou le mica par la décharge, et qui y serait restée adhérente ; mais cette explication est repoussée par ce fait, que les figures sur les deux faces de la lame sont parfaitement identiques ; qu'elles se montrent essentiellement les mêmes, soit que la batterie fût chargée d'électricité positive, soit qu'elle fût chargée d'électricité négative ; et qu'enfin elles la conservent très-longtemps. J'ai comprimé des heures entières les lames de mica entre des feuilles d'étain, sans pouvoir faire disparaître ces figures. Il est certain qu'elles apparaissent plus belles dans les courts instants qui suivent la décharge électrique ; le dessin alors tranche par son aspect miroitant sur un fond mouillé ; après quelques jours, la figure est ordinairement humectée elle-même, mais beaucoup moins que le fond, et elle reste telle pendant de longues années. Je possède des lamelles de mica qui, aujourd'hui, plus de quatre ans après la décharge électrique, montrent encore des figures à contours déterminés. On pourrait penser que ces figures sont formées par des particules métalliques que le courant électrique aurait arrachées aux pointes de laiton et disséminées sur le mica, si l'aspect de la plaque n'était pas resté tout-à-fait le même, si la faculté qu'elle possède encore d'isoler parfaitement ne rendait pas tout-à-fait invraisemblable la présence d'un dépôt métallique. Ces deux explications sont combattues plus efficacement par cette circonstance, que les figures atmo-électriques se reproduisent, quoique avec des formes un peu différentes, sur des surfaces métalliques polies et brillantes. Au moyen d'une pointe j'ai fait arriver des étincelles électriques sur des lames de cuivre plaquées d'or ou d'argent, et je voyais apparaître

Digitized by Google

aussitôt une tache noire. Sous l'influence de l'haleine, cette tache se montrait sous la forme d'un cercle large de quelques lignes, qui n'était recouvert d'aucune humidité, et qui était entouré d'un plus ou moins grand nombre d'autres cercles humides ou mouillés.

» D'après tout ce que nous venons de dire, il est probable que l'électricité, en frappant la surface des corps, la modifie de telle sorte, qu'elle a perdu la propriété d'être mouillée au contact des vapeurs ou de les condenser. J'espère que j'aurai l'occasion plus tard de faire, à ce sujet, des recherches plus approfondies. Il est à remarquer que, suivant Degen, les tubes de verre qui ne peuvent pas être mouillés par l'eau conduisent bien l'électricité, tandis qu'ils isolent quand, en les chauffant, on leur a rendu la faculté d'être mouillés. Il est encore une expérience remarquable, mais dont je ne connais point l'auteur. On dessine, dans un jour froid d'hiver, sur un carreau de fenêtre bien séché par la chaleur de la chambre, avec la boule d'une bouteille de Leyde chargée d'électricité, puis on fait arriver sur le carreau la vapeur d'eau bouillante : aussitôt qu'il est refroidi, la figure se montre au sein des vapeurs condensées, et elle est différente suivant qu'on a employé l'électricité positive ou l'électricité négative. »

NOTE SUR LES IMAGES ÉLECTRIQUES, PAR G. KARSTEN.

« Les figures que M. Riess a désignées sous le nom de figures atmo-électriques s'obtiennent très-facilement à l'aide d'un tableau de Franklin dont l'une des garnitures reste mobile. Le dessin que la lumière électrique avait rendu visible se montre de nouveau sous l'influence de l'haleine. Quelques parties ont donc, par l'effet de l'électricité, perdu la propriété de ne pouvoir plus être mouillées par les vapeurs ou de ne plus les condenser. L'analogie de ces figures avec les figures de Moser m'a paru si grande, que j'ai osé espérer de reproduire par l'électricité ce que l'illustre physicien de Kœnigsberg avait obtenu à l'aide de la lumière. Pour atteindre ce but, j'ai placé une médaille sur une glace en verre qui reposait elle-même sur une plaque de métal ; puis j'ai fait tomber sur la médaille, au moyen du conducteur de la machine électrique, une série d'étincelles qui frappaient ensuite la plaque de métal.

» Après cent tours d'un plateau qui avait 54 centimètres de diamètre, j'enlevai la médaille : la plaque de verre ne paraissait nullement modifiée; mais, par l'intervention de l'haleine humide, on voyait

Digitized by Google

apparaître presque dans les plus petits détails l'empreinte parfaite de la médaille. Dans les figures ainsi obtenues, les parties saillantes se dessinaient sombres ou brillantes, suivant qu'on les voyait par la lumière transmise ou par la lumière réfléchie.

»Cette expérience fait naître naturellement les questions suivantes : L'image obtenue est-elle le résultat de traces électriques adhérentes à la glace? Sont-elles produites par la lumière, et rentrent-elles, par conséquent, dans la catégorie des images de Moser? Peut-on obtenir de semblables images sur les plaques métalliques? Quelles sont les conditions nécessaires à leur formation? Comment peut-on les fixer?

» La réponse à la première question est tout-à-fait négative; la plaque conserve, il est vrai, d'abord quelques traces d'électricité; mais on les fait bientôt disparaître, soit en l'essuyant avec un morceau de drap, soit en la mettant à terre; or, les images n'en apparaissent ensuite que plus distinctives. Il est très-difficile, même en frottant fortement la glace, en la chauffant, en la recouvrant souvent de vapeurs, de faire évanouir toute trace d'image; et cette persistance nuit même aux expériences qu'on voudrait faire. Ce qui contribue encore à faire repousser l'opinion de l'électricité adhérente à la plaque, c'est que l'image n'est rendue ni plus faible ni moins stable par l'action de l'électricité contraire, et que les deux électricités produisent absolument le même effet. Mais ce qu'il y a de plus concluant, c'est qu'avec certaines précautions que j'indiquerai plus tard, j'ai obtenu des images sur des plaques de métaux conducteurs, là, par conséquent, où il ne peut pas être question d'électricité adhérente.

»Il est plus difficile de répondre à la seconde question, et de décider s'il faut attribuer la formation des images à une action propre de l'électricité, ou à l'action de la lumière qui l'accompagne nécessairement. Ne pourrait-on pas opposer à cette seconde manière de voir, que le temps nécessaire à la formation des images dans le procédé que j'ai suivi est beaucoup plus court que quand on fait agir la lumière? Il suffit de quelques tours pour obtenir sur le verre l'empreinte des contours de la médaille; et si la médaille ne se dessine sur une plaque métallique qu'après trois cents tours, ce temps est encore comparativement presque insignifiant.

»Si l'on objecte que l'intensité de la lumière est assez grande pour

Digitized by Google

qu'elle puisse agir dans un temps très-court, je répondrai que la forte étincelle d'une batterie donne des images beaucoup plus imparfaites, quoique la lumière soit beaucoup plus intense. De plus, j'ai isolé la médaille au moyen de gomme-laque, et l'ai placée à la distance de deux lignes du verre : les étincelles tombaient immédiatement du bord de la médaille sur la plaque métallique, je n'en obtenais pas moins l'image, quoique, même dans l'obscurité, on n'aperçût aucune trace de lumière entre la médaille et la glace.

» Il ne pourrait donc être ici question que des soi-disant rayons obscurs ou invisibles ; mais il n'est pas établi qu'ils puissent exercer une action si intense ; et l'on devrait supposer que les rayons propres à faire subir aux surfaces les modifications dont nous venons de parler sont concentrés plus spécialement et préférablement dans la lumière électrique, ou même dans le fluide électrique. Tant qu'une pareille supposition n'aura pas été préalablement justifiée, n'est-il pas plus raisonnable de regarder cette action comme propre à l'électricité ?

» Quant aux conditions nécessaires à la formation de l'image, voici ce que je puis dire actuellement : elle semble dépendre beaucoup de l'état du verre ; les images sont aussi visibles sur un verre épais que sur un verre mince ; on peut placer le verre entre deux médailles qui sont alors, par rapport à lui, comme les deux armures d'un carreau fulminant. Quand le verre est mince, on peut superposer plusieurs plaques ; l'image produite sur chacune d'elles ira en s'affaiblissant, mais restera toujours visible. Il en est tout autrement de la nature chimique du verre : dans les mêmes conditions j'ai obtenu de bonnes images très-différentes avec diverses sortes de verres. Peu importe que la boule du conducteur soit placée à distance de la médaille, ou amenée au contact. Pour que l'image soit exacte et bien tranchée, il est très-nécessaire, au contraire, que l'étincelle partie de la médaille vienne frapper la plaque métallique qui déborde ; quand l'électricité s'échappe lentement de la médaille, l'image est confuse.

» Les images se formaient bien mieux sur les plaques métalliques quand, en interposant du papier huilé entre la médaille et la plaque, je ralentissais le passage de l'électricité ; cependant, j'ai obtenu des images au contact immédiat. Je n'ose pas affirmer que la nature de la médaille ait quelque influence ; il paraît cependant que les meil-

Digitized by Google

leurs conducteurs donnent naissance aux meilleures images. Comme je l'ai déjà dit, les fortes décharges de bouteilles de Leyde ou de batterie font moins d'effet que des étincelles isolées; il faut au moins autant de temps avec une batterie, plus avec une bouteille pour produire le même résultat. Cette différence d'action peut tenir à ce que la batterie ou la bouteille retiennent une partie de l'électricité, ou à ce que la machine électrique donne moins d'électricité à mesure que la charge de la batterie ou de la bouteille augmente. L'électricité positive et l'électricité négative semblent être également efficaces : j'ai, toutefois, à ce sujet fort peu d'expériences.

»Pour ce qui regarde la fixation des images, je n'ai jusqu'ici réussi que fort imparfaitement. Les images produites sur le verre sont mises en évidence par l'action des vapeurs de mercure ou d'iode, mais elles s'évanouissent presque aussitôt. Les images rendues visibles sur le métal par l'action de ces mêmes vapeurs sont inégales et confuses ; ce qui peut tenir à la manière maladroite dont j'ai opéré, ou à l'insuffisance de mes appareils.

»Voyant, que pour obtenir des images sur des surfaces métalliques, il fallait interposer un corps faiblement isolant, je fus conduit à essayer l'action des courants électriques : mais jusqu'ici ils m'ont à peine donné quelques traces d'images. Je ne doute cependant pas qu'en opérant d'une manière convenable, je n'obtienne plus tard des résultats plus heureux. »

Seconde note sur les images électriques, *par M. G. Karsten.* (*Annales de Poggendorff*, tom. LVIII, p. 115. 1843, n° 1.) — « En poursuivant mes recherches sur les images électriques, je suis arrivé aux résultats suivants : 1° j'ai mieux défini les conditions nécessaires à la formation des images ; 2° je n'ai pu découvrir aucune différence entre le mode d'action des deux électricités; 3° les images électriques sont essentiellement distinctes de celles qui sont produites par la lumière ordinaire ou visible ; elles semblent, au contraire, identiques avec celles que M. Moser attribue à la lumière invisible ; 4° la production des images par des courants galvaniques est douteuse. Il est certain qu'elles apparaissent sous l'action du fluide magnétique ou de l'aimant; 5° la chaleur appliquée de diverses manières fait naître des images, mais les conditions de leur apparition sont encore quelque peu obscures.

Digitized by Google

» I. J'ai déjà dit, dans ma première note, que les images n'apparaissent avec netteté sur la plaque de verre qu'autant que les étincelles parties de la médaille vont frapper la plaque de métal qui déborde le verre. Cette assertion s'est confirmée, et je puis ajouter que l'image apparaît d'autant mieux qu'il y a eu plus de décharges spontanées entre la médaille et la plaque de métal, dont l'ensemble forme comme un carreau électrique ou une bouteille de Leyde. Ne devrait-on pas conclure de là qu'un courant constant d'électricité est nécessaire à la production d'images visibles? Cette conclusion devient plus vraisemblable quand on étudie la manière dont se conduisent les corps conducteurs imparfaits de l'électricité; sur ces corps, les images apparaissent très-distinctes pendant que l'électricité s'échappe lentement. La médaille se montre alors entourée d'une auréole lumineuse, indice certain de l'écoulement électrique. Pour obtenir des images sur des plaques métalliques, il faut procéder tout autrement que pour les plaques de verre : tandis que, dans dans le premier cas, il fallait hâter l'écoulement du fluide et l'empêcher de s'accumuler sur le verre, on doit, au contraire, pour le métal, ralentir la vitesse de l'électricité. J'ai dit, dans une précédente note, qu'on obtenait cette effet en interposant entre la médaille et la plaque un papier huilé. Depuis, j'ai employé, à cette effet, une lame de verre très-mince, ou mieux encore des feuilles de mica de Russie; il me suffisait de 15 ou 20 tours, c'est-à-dire d'un temps de 10 à 15 secondes, pour obtenir à travers ces feuilles des images extraordinairement distinctes. Plus l'isolateur est mince, c'est-à-dire plus la quantité d'électricité contraire accumulée sur la plaque métallique est grande, plus l'image est parfaite, plus sa production est rapide. Je citerai à l'appui de ce fait l'expérience suivante : je mis sur la plaque métallique deux feuilles de mica, placées de telle sorte que, l'une débordant l'autre, il y avait deux couches isolantes au milieu, une seule sur les bords. Après quinze tours, l'image de la médaille apparut très-nette sur les bords, faible au milieu. Ici encore, l'image est d'autant plus parfaite, qu'il y a plus de décharges spontanées entre la médaille et la plaque de métal, c'est-à-dire entre les deux armures du petit carreau électrique. Comme l'image produite par la série d'étincelles échappées du conducteur positif doit être réellement attribuée à l'électricité négative accumulée sur la plaque métal-

Digitized by Google

lique, je l'appellerai négative. J'appellerai au contraire positive l'image qui se produit quand les étincelles partent d'un conducteur négatif; il est bien entendu que ces dénominations ne s'appliquent qu'aux images produites sur des plaques métalliques.

» Il résulte de toutes ces expériences qu'une des conditions nécessaires à la formation des images, c'est de donner à l'électricité une vitesse moyenne. J'aurai diverses rectifications à faire relativement à la nature de la substance qui doit imprimer ou recevoir l'image. Les verres blancs, noirs ou colorés, l'agate, le porphyre, le marbre, le granit, la syénite, le papier glacé, le bois, la corne, la résine, l'argent, le cuivre, le laiton, le fer-blanc, l'acier, le zinc, et quelques dépôts métalliques, m'ont servi de plaques pour recevoir les images. L'expérience que je fis avec une plaque polie de diorite de Suède fut surtout remarquable : elle était formée d'albit, de hornblende et de fragments inscrustés d'oxide de fer magnétique. Si l'on mettait une lame de mica entre la médaille et la plaque, on ne voyait l'image que sur les parties métalliques. Si on retirait le mica, l'image devenait visible à des degrés différents sur l'albit et la hornblende; elle n'apparaissait plus sur l'oxide de fer. J'ai observé la même chose pour toutes les pierres composées. On voit par là qu'il faut nécessairement faire entrer en ligne de compte, le pouvoir conducteur des diverses substances. Peut-être aussi que l'on trouvera dans les expériences que je viens de citer un moyen de déterminer approximativement le pouvoir conducteur pour certains. J'ai employé comme objets dont je voulais obtenir l'image, des pièces de monnaie, des médailles, des cachets, des camées, divers minéraux, du verre et du papier. L'image de la feuille de mica interposée entre la médaille et la plaque se montrait toujours très-visible. Les détails les plus délicats apparaissaient quelquefois à tel point, qu'un cercle divisé obtenu sur papier à l'aide d'une planche de cuivre gravée, se dessina sur une plaque métallique avec toutes ses lignes si fines de division. Ce qui m'a le mieux servi dans les expériences, ce sont des pièces de monnaies frappées, à cause de la régularité des empreintes, des creux et des reliefs. Dans l'apparition des images d'une pièce de monnaie sur une plaque d'argent iodée semblable à celles qu'on emploie dans les expériences daguerriennes, je remarquai une circonstance très-singulière : après un grand nombre de tours, l'image de la pièce de monnaie et celle de la

Digitized by Google

feuille de mica étaient déjà très-distinctement visibles sur la plaque, sans qu'on eût besoin de recourir à l'action des vapeurs. Vue à l'aide de la lumière diffuse, cette image était brune; vue par réflexion, elle était d'un blanc bleuâtre, J'attribuai d'abord cette couleur à quelques traces d'iode restées adhérentes à la plaque ou à quelqu'une des substances employées au nettoyage; mais l'hyposulfite de soude et l'acide nitrique étendus ne modifièrent en rien cette image. Pour arriver à un plus grand degré de certitude, je pris des plaques neuves, qui me présentèrent toujours la même apparence. Après mille tours, l'image entière était uniformément imprimée ; deux mille tours rendirent plus intense la couleur brune. Une pièce de monnaie d'argent toute neuve semblait avoir perdu son éclat dans les endroits qui avaient imprimé leur image, et pourtant l'interposition de la lame de mica ne permettait pas de penser que des particules de métal avaient été transportées de la pièce d'argent sur la plaque métallique. Dans la production des étincelles entre la pièce de monnaie et la feuille de mica d'une part, entre la feuille de mica et la plaque métallique de l'autre, il pourrait peut-être se former une petite quantité d'acide nitrique ; mais il conviendrait peu d'attribuer à cet acide l'effet produit, car jamais, dans dans ces circonstances, la couleur du papier de tournesol humide n'a été altérée. Du reste, jai retrouvé ces mêmes apparences plus tard, mais toujours avec des plaques polies, ou des dépôts métalliques ; dans tous les cas, c'est quelque chose de distinct de la formation ordinaire de l'image, car il suffit de vingt tours pour qu'elle apparaisse aussi belle qu'elle peut l'être, tandis qu'un très-grand nombre de tours sont nécessaires pour lui faire acquérir l'aspect particulier dont nous parlons.

» II. Dans ma première note sur ce sujet, j'avais dit que l'électricité positive et l'électricité négative produisaient le même effet, mais je n'avais pas jeté assez de lumière sur ce point. Il est si vrai que les deux électricités agissent de la même manière, que l'image à l'aide de la vapeur d'eau apparaît de la même manière, également distincte, que l'on ait fait agir l'électricité positive ou l'électricité négative, ou les deux électricités à la fois. Je ne puis pas faire arriver sur la même médaille des quantités rigoureusement égales des deux électricités, parce que, dans la machine dont je me sers, les conducteurs sont séparés, et que l'électricité positive est manifestement plus forte ; mais

Digitized by Google

l'effet obtenu par la décharge de la surface intérieure ou extérieure d'une bouteille de Leyde est visiblement le même. Le premier et le meilleur des moyens que j'ai mis en usage pour rendre les images visibles, la vapeur d'eau, ne m'a jamais donné de différence; toujours les reliefs de la pièce apparaissaient non mouillés. Dans l'insufflation, il faut presque distinguer deux sortes d'haleines : on voit l'haleine se répandre d'abord rapidement et uniformément sur toute la plaque, puis elle se dépose lentement et s'attache au métal sur des portions isolées, là surtout où existe l'image. Ce phénomène a beaucoup de rapport avec celui que l'on observe quand l'eau se répand entre deux plaques de verre placées à une petite distance. La première haleine se dissipe promptement, tandis que la seconde adhère longtemps au métal. Malgré l'identité qui semble exister entre les images électriques mises en évidence par la vapeur d'eau, on peut cependant remarquer entre elles une différence qui devient sensible quand on les fixe à l'aide de la vapeur d'iode ou de mercure. On obtient ainsi bientôt des images dans lesquelles les parties saillantes de la médaille sont modifiées par la vapeur, tantôt plus, tantôt moins que les autres portions. La première sorte d'image produit l'effet d'une médaille en relief; la seconde, l'effet d'une médaille en creux. L'apparition de l'une ou de l'autre sorte d'image se montra d'abord à moi comme tout-à-fait irrégulière. La différence entre les images positives et négatives dont M. Moser cherchait la cause dans la plus ou moins grande tension de la vapeur, ne se retrouvait pas tout-à-fait dans les images électriques; cependant, je remarquai plus tard qu'une image électrique négative, obtenue par un petit nombre de tours, fut fixée négative, et que de même une image positive fut fixée positive; ce qui veut dire que la première image faisait l'effet d'une médaille en creux, et la seconde l'effet d'un relief. La netteté de l'image n'est pas du tout augmentée quand on expose la plaque iodée aux vapeurs de mercure. Les images électriques négatives sont rarement aussi bien fixées par la vapeur d'iode que les images électriques positives. Si, au contraire, on expose d'abord la plaque non iodée à l'action des vapeurs de mercure chauffé à 75° c., de telle sorte que l'image paraisse, alors les images négatives seront fixées très-nettes par l'iode, et même souvent elles seront fixées positives, tandis que les images électriques positives ne gagneront rien sous l'influence de l'iode. Je

Digitized by Google

n'ai rien remarqué de régulier dans la transformation d'une image négative ou positive par l'emploi préalable du mercure. Il me semble cependant que la quantité d'électricité employée à une influence remarquable sur le renversement, comme la série suivante d'expériences semble le prouver.

Nature de l'image électrique.	Nombre de tours.	Nature de l'image après l'ioduration.
Positive.	30	Positive.
Positive.	100	Faiblement négative.
Positive.	200	Négative.
*Positive.	30	Positive.
*Positive.	100	Faiblement positive.
*Positive.	200	Méconnaissable.
Négative.	30	Négative.
Négative.	100	Faiblement positive.
Négative.	200	Positive.
*Négative.	30	Légèrement positive.
*Négative.	100	Négative.
*Négative.	200	Positive.

» Dans les expériences marquées par un astérisque (*), les plaques, avant la formation de l'image, ont été exposées à la vapeur du mercure chauffé à 75° c. Je suis bien loin de donner pour constants les résultats que je viens de rapporter; j'ai bien moins encore la pensée de vouloir déduire de ces observations une loi déterminée et invariable; il me semble seulement que ces expériences rendent certaine l'influence de la quantité d'électricité employée. Suivant quelle loi cette influence s'exerce-t-elle? Je ne saurais le dire actuellement. Les images électriques positives résultant de l'inversion des images négatives, se distinguent des images positives obtenues directement par la couleur. Sur le laiton, les premières sont bleues; les secondes offrent une belle couleur jaune d'or. Les expériences que je viens de citer ont toutes été faites sur du laiton, parce que je n'ai pas pu fixer encore des images sur l'argent, et cependant la vapeur d'eau met en évidence sur ce métal des images fort nettes et très-tranchées. La nature du métal paraît donc avoir aussi de l'influence sur la nature de l'image; mais cette influence est enveloppée de trop d'obscurités pour que j'ose exprimer une opinion à ce sujet.

» III. En réunissant toutes les particularités par lesquelles lesimages électriques se séparent des images obtenues à l'aide de la lumière or-

Digitized by Google

dinaire, on arrive à cette conclusion, que ces images électriques sont identiques avec celles que le professeur Moser attribue à la lumière invisible. Le premier caractère propre de ces images, c'est la manière d'agir de la vapeur qui les fixe; les vapeurs de mercure ne font pas apparaître les images électriques que la vapeur d'iode met si facilement en évidence. Si l'on expose aux vapeurs de mercure une plaque iodée, sur laquelle l'électricité a vraiment imprimé une image encore invisible, l'image n'apparaîtra pas, elle est cependant réelle, car la seule haleine suffit à la rendre très-visible. Mais si on expose cette plaque iodée, et sur laquelle l'image s'est imprimée, aux rayons du soleil, l'image se montrera décolorée ou d'une teinte plus claire, pendant que tout le reste de la plaque est noirci. Il y a donc eu en réalité une modification de l'iode, comme cela arrive pour les images produites par la lumière; mais dans le cas des images électriques, cette modification est substantiellement différente; elle est telle qu'elle peut être produite sur tous les corps et par tous les corps, tandis que l'iode est impressionné par la lumière d'une manière tout-à-fait particulière. Il ne me semble pas possible d'aborder encore d'une manière générale la question suivante : Les rayons lumineux ou calorifiques peuvent-ils devenir la cause productrice des images électriques? Si l'on avait d'abord obtenu les images de Moser par des procédés électriques, aurait-on songé à les attribuer ou à la lumière électrique ou à la chaleur excitée par l'électricité? Non sans doute; on aurait vu dans ces images un effet propre de l'électricité. Cette recherche serait d'ailleurs superflue, si elle n'avait pas d'autre résultat que de prouver l'identité entre les images électriques et les images produites par la lumière invisible, car cette identité ressort de toutes les expériences. Compare-t-on, par exemple, sous le rapport du nivellement, ces deux sortes d'images, elles se composent absolument de la même manière. Les images dues aux rayons invisibles ne sont nivelées par aucune couleur, pas même par la lumière invisible; il en est de même des images électriques. Le bleu et le violet, ou, ce qui revient au même dans la théorie de M. Moser, la vapeur d'eau ou d'iode, la lumière directe ou diffuse, font apparaître les images dues à la lumière invisible et commencent l'action; la même chose a lieu pour les images électriques. Le rouge et le jaune, couleur de la vapeur de mercure ne peuvent pas,

Digitized by Google

au contact, faire ressortir l'image due aux rayons invisibles, ou ne la mettent en évidence qu'après un temps très-long : c'est encore ce qui arrive pour les images électriques. Un caractère non moins saillant d'identité, c'est que l'image électrique imprimée sur une plaque iodée n'est pas rendue visible par les vapeurs de mercure, comme je l'indiquais tout-à-l'heure. En un mot, tous les phénomènes s'accordent à faire reporter les images électriques dans la catégorie des images de Moser. Qu'il me soit permis d'ajouter, toutefois, que pour moi la lumière invisible n'est pas de la lumière; ce nom, dans tous les cas, n'est ni convenablement choisi ni approprié au caractère particulier des phénomènes. M. Moser dit lui-même que la lumière invisible n'existe pas dans le soleil, mais qu'elle appartient à tous les autres corps. Pour moi, ce n'est nullement de la lumière, mais une vertu particulière dont jouissent tous les corps. Le lien d'union entre les vraies images lumineuses et celles qui sont dues aux rayons invisibles consiste seulement en ce que toutes deux manifestent des altérations ou modifications de la surface des corps; celle de ces altérations qui est due au contact de la lumière invisible, est plus efficace que l'autre; toutes les apparences constatent des variations dans la cohésion. La lumière, la chaleur, l'électricité ont un point de départ commun, et je pense qu'il faut chercher leur raison dans la cohésion bien plus que dans la lumière. Mais comment prononcer sur la nature d'une chose quand les faits qui l'appuient sont encore si incertains? Il faut savoir alors se contenter d'hypothèses.

» L'action de la lumière sur les plaques iodées est, au reste, la même pour tous les métaux. Si je n'ai pas réussi, comme je le disais tout-à-l'heure, à obtenir des images à l'aide des vapeurs d'iode sur des plaques d'argent, au moins est-il vrai que la lumière met en évidence les images électriques, qu'elles aient été produites sur l'argent ou sur un autre métal. M. Moser n'a pas osé distinguer, quant à la couleur, les vapeurs d'eau et d'iode, parce qu'il leur a reconnu la même aptitude à exciter ou à niveler les images. Cette égalité d'action n'a plus lieu pour les images électriques : en effet, la vapeur d'eau fait bien mieux ressortir ces images que la vapeur d'iode; elle fait apparaître des images fortes tranchées là où l'iode n'avait montré aucuns linéaments.

Digitized by Google

» IV. J'ai essayé aussi de produire des images à l'aide d'un courant galvanique ; mais je n'ai obtenu que des résultats incertains. Une pile de quarante plaques de 2 décimètres carrés n'a rien produit, soit que les deux pôles vinssent aboutir à la médaille déposée sur la plaque de verre ou de métal, soit que l'un des pôles communiquât avec la médaille et l'autre avec la plaque métallique ; un calorimoteur qui donnait de belles étincelles a été tout aussi impuissant. Chaque fois, il est vrai, j'obtenais l'image du bord de la médaille ; mais l'expérience avait duré si longtemps, que je ne pouvais dire d'une manière certaine si l'image obtenue était galvanique. Avec l'aimant, au contraire, j'ai obtenu des effets non douteux. Une médaille de fer qui reposait sur une glace en verre fut frottée plusieurs fois avec un aimant ; quand je l'eus retirée, l'insufflation de l'haleine faisait paraître l'image du bord. Beaucoup de contre-épreuves m'ont prouvé que je ne pouvais pas attribuer cette image à d'autres causes. On obtiendrait, je crois, des effets remarquables avec un aimant plus fort. Je n'ai pas pu essayer l'effet de l'électro-magnétisme, parce que je n'avais pas sous la main les appareils convenables.

» V. Enfin, l'action de la chaleur, dirigée de diverses manières m'a donné des images très-nettes ; une plaque de verre sur laquelle j'avais placé une médaille, fut déposée dans un four chaud, puis retirée après cinq minutes et refroidie : sous l'influence de l'haleine, l'image apparut ; quelquefois, un simple frottement la faisait apparaître. Cette dernière circonstance se reproduit surtout à l'égard des images excitées par la chaleur,

» Je répétai cette expérience en substituant une plaque métallique à la plaque de verre, sans arriver à un résultat certain. Une autre fois, je chauffai convenablement une médaille et la plaçai sur une flamme, puis, avec cette médaille, je touchai un instant une plaque : je vis apparaître aussitôt une belle image qui se laissa fixer par la vapeur d'iode et de mercure. Il m'a semblé que l'image se montrait mieux quand la médaille était couverte de noir de fumée. Toutes les fois qu'une image distincte avait été excitée, on pouvait la voir sans recourir à l'iode, au mercure ou à une autre vapeur quelconque ; elle apparaissait avec cette même couleur bleuâtre qui caractérise les images électriques produites sur l'argent, comme je l'ai décrit plus haut. Les conditions nécessaires à la formation des images thermiques ne me

Digitized by Google

sont pas encore assez connues pour que je puisse entrer dans de plus grands détails. »

Note sur les taches circulaires de Priestley, par M. MATTEUCCI. — On prend une plaque de Daguerre, et on la présente à l'extrémité émoussée d'une tige de laiton qui communique au conducteur de la machine électrique. Après quelques tours, trois ou quatre, on voit apparaître sur la lame et dans un point correspondant à l'extrémité de la tige, une tache ordinairement circulaire, de couleur noirâtre, large de deux à trois millimètres, et que M. Matteucci compare aux taches de Priestley. Elle se forme également sous l'action de quelques étincelles; ou quand à la tige de laiton on substitue une autre substance quelconque; ou enfin, quand on opère dans l'air très-dilaté ou dans le vide, l'acide nitrique et l'ammoniaque font disparaître ces taches sur-le-champ. En faisant passer à travers deux lames de Daguerre une forte décharge d'une batterie de dix grandes bouteilles, on n'a rien obtenu de semblable : on a vu se former seulement de très-belles étoiles d'une couleur jaune d'or qui correspondaient aux deux branches de l'excitateur.

Première note sur des images produites par l'électricité, par M. MASSON. — « Ayant depuis longtemps soupçonné que l'état particulier des surfaces sur lesquelles apparaissent des images sous l'influence d'une vapeur ou d'un transport de particules matérielles très-tenues était un état électrique, j'ai fait l'expérience suivante : un moule de médaille en cuivre a été placé sur un gâteau de résine de 1 centimètre d'épaisseur ; une étincelle électrique a été lancée d'une machine électrique sur la médaille, pendant que le fond de l'électrophore communiquait avec le sol; ayant enlevé la médaille, on a projeté sur la partie électrisée de la résine un mélange de soufre et de minium. Toutes les lettres du médaillon étaient parfaitement représentées par le minium.

» Le reste de la figure était imparfait.

» Il y a tout lieu d'espérer qu'en modifiant convenablement l'intensité de l'électricité, l'épaisseur du corps qui reçoit l'action électrique et la conductibilité, on pourra produire des impressions plus parfaites et arriver à une explication des phénomènes observés par MM. Moser, Karsten et Knorr, en même temps qu'à démontrer de nouveaux faits dépendants de la propagation du fluide électrique. »

Digitized by Google

Deuxième note de M. MASSON. — « Dans toutes les expériences de M. Daguerre et de M. Moser, la fixation des vapeurs n'est-elle pas précédée par un état électrique des surfaces? La lumière, la chaleur, *l'électricité*, ne produisent-elles pas, en agissant sur tous les corps, un même état final et qui les rend propres à fixer, soit physiquement, soit chimiquement, les vapeurs? Cet état final n'est-il pas un état électro-statique?

» Dans ce cas, l'action chimique ne serait-elle pas seulement secondaire? La conductibilité électrique des corps n'étant que relative, je fus naturellement conduit à chercher si, en modifiant convenablement l'intensité de l'action électrique, je ne parviendrais pas à reproduire par l'électricité toutes les impressions mosériennes.

» Je commençai mes recherches en me plaçant dans des circonstances qui ne laissaient aucun doute sur la nature de l'action.

» Après plusieurs essais, je m'arrêtai à la méthode d'opération suivante :

» Je prends pour condensateur des plaques de daguerréotype hors de service qui m'offrent une surface parfaitement plane. Sur ces plaques, je fais fondre une couche d'une substance isolante, dont l'épaisseur varie de 1/2 à 1 millimètre; j'emploie la substance qui constitue les électrophores, de la cire d'Espagne, de la cire jaune, de la gomme-laque, etc.

» Après avoir placé sur la couche isolante la médaille que je veux reproduire, qui, pour l'ordinaire, n'est autre qu'une pièce de monnaie, je l'électrise par les moyens suivants :

» Mettant en communication avec le sol, soit la pièce, soit la plaque métallique, je fais jaillir sur celle qui reste libre une étincelle d'une machine électrique; d'autres fois, je la mets directement en contact avec la machine, et je fais faire au plateau un nombre de tours qui varie avec la puissance isolante de la résine; enfin, et cela réussit très-bien, après avoir mis l'un des conducteurs du condensateur en communication avec l'armature extérieure d'une bouteille de Leyde, je décharge l'armature intérieure sur l'autre : l'intensité de la décharge doit varier avec l'épaisseur de la plaque isolante et sa conductibilité, ou mieux, sa puissance d'induction. L'étincelle jaillit toujours entre les deux armatures, ce qui semble indiquer qu'il n'y a pas ici transmission de fluide à travers la couche isolante.

Digitized by Google

» Lorsque la médaille à reproduire est elle-même formée d'une substance isolante, de verre, par exemple, il vaut mieux la mettre directement en contact avec la machine. J'ai produit ainsi de très-belles impressions avec des cachets en verre.

» La plaque étant électrisée, pour faire apparaître l'impression, il faut projeter sur sa surface une poudre très-ténue, ce que je fais à l'aide d'un soufflet qu'on emploie pour produire les figures de Lichtemberg. J'avais d'abord employé deux poudres, mais les images sont plus nettes avec une seule. Je n'ai opéré jusqu'à présent qu'avec du minium, mais je ne doute pas qu'on réussirait également avec toute espèce de poussière, par exemple de la silice, du lycopode, etc. Voici alors ce qu'on remarque : si la médaille reçoit l'électricité positive, les parties de la couche isolante en regard des reliefs sont remplies de poussière : j'appellerai cette image positive ; lorsqu'au contraire la médaille reçoit l'électricité négative, les parties en regard des reliefs restent unies.

» Toutefois, il est utile de remarquer que l'effet peut être inverse suivant la nature de la couche isolante, son épaisseur, et la nature ou l'état électrique de la première. Si les impressions obtenues par M. Moser et les images daguerriennes ont quelque rapport avec les empreintes électriques, ne trouverait-on pas dans les faits précédents une explication à cette variation d'images, qui sont positives ou négatives suivant les circonstances où l'on opère ? N'obtiendrait-on pas, à volonté, en électrisant les vapeurs, des images positives ou négatives ? Je n'ai pu jusqu'ici résoudre cette dernière question.

» Après avoir obtenu des impressions électriques sur des résines, j'ai essayé sur de plaques daguerriennes préparées. Une médaille placée sur une telle plaque, a été soumise à l'action du pôle d'une pile sèche pendant une minute. L'empreinte a été rendue manifeste par le mercure, et je l'adresse à l'Académie. Je ne puis en ce moment rien déduire de cette expérience, répétée plusieurs fois avec des succès différents ; parce que j'avais obtenu immédiatement les mêmes impressions sans pile sèche, en laissant, il est vrai, la médaille un peu plus longtemps en expérience. La sensibilité de la couche d'iode, la différence de température entre la plaque et la médaille, ont une telle influence, qu'il faut, pour conclure, opérer avec ou sans électricité dans des circonstances toujours identiques. J'ai

Digitized by Google

exposé au soleil des plaques iodées sur lesquelles j'avais posé des médailles, jusqu'à ce que la couche d'iode fût noire. Les unes furent électrisées sur une pile sèche, et les autres n'éprouvèrent pas l'action du fluide électrique. Les premières donnèrent des images positives, les secondes des images négatives.

» J'ai essayé enfin de fixer sur les plaques de résine les impressions électriques, et j'ai réussi, en chauffant légèrement la plaque métallique qui leur servait de support. »

Sur la formation des images de M. Moser, par M. MORREN. — 1° Si l'on prend deux sphères, l'une et l'autre conduisant le fluide qui doit agir sur elles, que la première soit recouverte de corps ténus et légers, la seconde recouverte d'un corps capable de se vaporiser, que celle-ci soit échauffée, celle-là électrisée, les corps légers et la vapeur s'échapperont des sphères normalement à leur surface.

2° Si sur une surface plane regardée comme une petite portion des sphères précédentes suffisamment agrandies, on place un écran découpé, puis au-dessus de l'écran une surface capable de recevoir, l'un des corps légers, l'autre les particules de vapeur, on obtiendra deux empreintes, l'une que j'appellerai *électrique*, l'autre *hydrothermique*.

3° Au lieu d'une surface plane avec un écran, on peut prendre une surface à relief, une médaille, une pièce de monnaie, sur laquelle on déposera, en frottant avec le doigt ou un linge humide, les corps légers ou la vapeur d'eau, en essuyant doucement, mais avec soin, la surface, puis, posant la pièce de monnaie, soit sur un morceau de papier isolé, si c'est une empreinte électrique; soit sur un corps poli, pour le second cas ; on obtient les deux sortes d'empreintes. L'application de la chaleur se fait en chauffant la pièce au moyen, soit de la vapeur de l'haleine, soit de la vapeur d'eau chaude (1). Pour l'électricité, j'emploie avec succès une bouteille de Leyde dont le bouton est, après la charge, approché de la médaille. Ces dernières empreintes se font avec tant de facilité et de perfection, comme on pourra en juger par celles qui accompagnent cette note, que désor-

(1) Il faut que le contact de la pièce de monnaie avec la plaque polie soit très-court.

Digitized by Google

mais cette expérience peut prendre place dans les cours, comme un exemple intéressant des répulsions électriques.

4° Les empreintes hydrothermiques ont cela de curieux, bien que ces faits soient depuis longtemps connus, que le souffle de l'haleine humide peut les faire reparaître un assez grand nombre de fois, même après que l'eau, en s'évaporant, semble avoir emporté avec elle l'image primitive. Cette circonstance est due à ce que la surface de tous les corps est recouverte d'une substance organique, soluble dans l'eau et éminemment hygrométrique.

Si l'on nettoie avec soin une plaque polie de verre ou de métal (les plaques daguerriennes réussissent parfaitement), on ne la prive pas pour cela de la couche organique qui la tapisse, on ne fait que l'étendre avec plus de régularité la vapeur alors y adhérer en globules très-fins et réguliers, auxquels la réflexion de la lumière communique une couleur blanche. En s'évaporant, ces globules modifient et disposent en mamelons coniques la substance organique, qui permettra aussi aux nouvelles couches de vapeur de réfléchir différemment la lumière, la forme globulaire des particules de vapeur disparaissant de plus en plus pour passer à une forme plus aplatie, ainsi que le microscope le fait connaître. La teinte des couches successives de vapeur insufflées passe ainsi du blanc au sombre. Cette dernière propriété est facilement mise en évidence en employant une plaque de plaqué bien nettoyée; on la cache tout entière au moyen d'un écran, à l'exception d'une bande de 1 centimètre de large, que l'on expose rapidement au souffle de l'haleine humide, ou mieux à la vapeur sortant d'un vase plein d'eau tiède. On découvre une nouvelle bande de 1 centimètre, qu'on expose à l'action de la vapeur avec la première, et ainsi de suite pour des bandes successives, en ayant soin de se tenir toujours à la même hauteur au-dessus du vase, pour recevoir la vapeur d'eau. La plaque ainsi préparée, si l'on insuffle légèrement l'haleine humide sur elle, on voit se produire une gamme de bandes qui vont du blanc au brun, la plus brune étant celle qui a reçu le plus de fois l'action de la vapeur. Ces gammes se produisent sans insufflation sur certains verres, et même sont visibles à l'œil.

6° On conçoit, d'après ces faits, comment se forme l'empreinte hydrothermique et comment elle finit par disparaître après une succession de condensations de vapeur plus ou moins nombreuses sui-

Digitized by Google

vant que la première empreinte est plus ou moins parfaite, suivant que la source d'où émane la vapeur est plus ou moins voisine de la plaque ; cette dernière cause est la plus énergique.

7° On peut voir et étudier facilement les empreintes hydrothermiques sans recourir à la condensation de la vapeur d'eau. Il y a deux moyens à suivre : 1° le procédé d'une action chimique se produisant sur l'empreinte primitive sitôt qu'elle vient d'être formée, et il n'y a ici que l'embarras du choix ; M. Bertot a cité l'ammoniaque pour les empreintes produites sur cuivre : mais ce procédé ne m'intéressait pas, puisqu'il ajoutait un corps étranger à la substance organique ; 2° l'emploi de la réflexion totale : si, sur l'hypoténuse d'un prisme rectangle et isocèle parfaitement pur, de 2 centimètres de longueur, on produit une empreinte hydrothermique, les modifications inégales de la substance organique que recouvre la surface hypoténuse devront exercer leur influence sur les rayons lumineux qui arriveront à l'œil après avoir subi la réflexion totale, et on devra apercevoir nettement l'image. Effectivement, en se plaçant devant une fenêtre bien éclairée, mais cependant, renvoyant à l'œil l'image d'un objet sombre, tel que le montant de la croisée, l'image est parfaitement visible, ce qui se conçoit facilement d'après les notions les plus simples des lois qui président à la réflexion totale.

8° En mettant sur le bout du doigt, soit de l'eau, soit de l'alcool, soit de l'ammoniaque, etc., on voit, en approchant le doigt du prisme, l'image se développer plus vive, comme dans les cas précédemment indiqués, et disparaître lorsque le liquide s'évapore.

9° On peut, avec une aiguille légèrement aplatie, enlever la substance organique qui produit l'image, et nettoyer ainsi à volonté telle partie de la surface que bon ce semble.

10° Nettoyez le prisme avec du coton bien propre et de la vapeur d'eau, l'image s'obtiendra avec plus de peine, et le prisme apprendra qu'elle est incomparablement moins marquée, souvent même presque invisible.

11° Les verres de diverses couleurs ne sont pas également propres aux empreintes hydrothermiques. Ceux qui réussissent le mieux sont les verres colorés en hyacinthe par l'antimoine. Sur ces verres, ainsi que sur quelques autres, les images sont visibles sans condensation de vapeur.

Digitized by Google

12° Soumises sur des plaques de verre à l'action de la chaleur portée jusqu'au rouge naissant, ces empreintes ne sont pas détruites : elles sont sensiblement moins visibles, mais elles sont peut-être plus persistantes ; la substance semble avoir été carbonisée : il y a dans cette voie des recherches et des observations microscopiques ultérieures que je n'ai pas terminées.

13° Si pour faire ces expériences, au lieu d'eau, on emploie l'essence de térébenthine, l'empreinte faite sur le verre hyacinthe est visible, mais la vapeur d'eau ne la fait pas renaître : la vapeur de térébenthine semble seule posséder cette propriété. L'expérience est difficile.

14° Si sur une plaque de plaqué, parfaitement nettoyée, on laisse une médaille ou pièce de monnaie pendant une nuit, le lendemain l'empreinte apparaît sur la plaque par le souffle de l'haleine.

15° Cette expérience réussit dans le vide. Dans ces deux cas, l'empreinte est mieux marquée si la médaille est placée sur la plaque lorsque celle-ci est de 10 ou 20 degrés plus froide qu'elle. L'expérience réussit également bien, que la médaille soit ou non recouverte d'un enduit favorable au rayonnement, du noir de fumée, par exemple.

16° L'expérience réussit encore malgré tous les soins possibles pour mettre la médaille et la plaque à la même température. Voici ce qui a été fait : dans une grande salle où la température ne varie pas d'un degré dans la journée, on a mis une cuve en glace pleine d'eau, avec des thermomètres à *maxima* et *minima* ; puis, sur un morceau de liége qu'une cloche en cristal pleine d'air, et renversée, maintenait au milieu de l'eau, on avait placé la médaille et la plaque. Les thermomètres n'ont pas indiqué de variation dans la température ; l'expérience a réussi avec des médailles noircies et non noircies.

17° Si, lorsqu'on a fait sur une plaque de plaqué une empreinte hydrothermique, on passe à l'iode et on l'expose au soleil, les parties sur lesquelles le rayonnement de vapeur a eu lieu sont moins sensibles, et l'image apparaît. La gamme hydrothermique du numéro 5, iodée et exposée au soleil, présente les mêmes résultats; les bandes qui ont été le plus souvent soumises à l'action de la vapeur sont les moins sensibles et noircissent le moins vite.

18° Enfin, si une plaque bien nettoyée est placée dans une cham-

Digitized by Google

bre obscure et reçoit, pendant un temps qui varie de un à deux jours, l'image d'une vue bien éclairée, on obtient une image hydrothermique que le souffle de l'haleine rend apparente. Si la moitié de la plaque avait été nettoyée soigneusement avec de la vapeur d'eau et du coton, l'image sur cette partie ne se montre pas, quoique tracée sur l'autre.

Mémoire sur la coloration par l'électricité des papiers impressionnables à la lumière, et sur une nouvelle classe d'empreintes électriques ou électrographiques; par M. Aug. Pinaud.— «L'objet de ce travail est d'étudier l'action de l'électricité statique sur les chlorure, iodure et bromure d'argent, et de la comparer à celle de la lumière sur ces mêmes substances.

» Je me suis d'abord servi de plaques daguerriennes iodées ou bromurées. En faisant tomber sur une de ces plaques l'électricité qui s'écoule d'une pointe, soit positive, soit négative, on obtient en très-peu d'instants des taches d'une couleur bleu d'acier, miroitantes et irisées vers leurs bords. On peut tracer ainsi toute sorte de caractères ou de dessins. La décharge d'une bouteille de Leyde y forme instantanément des taches circulaires d'une régularité parfaite, offrant la plus grande analogie avec celles que Priestley a obtenues sur des surfaces métalliques simplement polies, mais à l'aide de batteries puissantes.

» Chacun de ces deux modes d'expérimentation était défectueux pour le but que je m'étais proposé ; car, indépendamment de l'expérience de Priestley, M. Matteucci a fait voir récemment qu'une série d'étincelles tombant sur la surface argentée d'une plaque de Daguerre y produit *à la longue* une tache bleuâtre irisée. Il est vrai que l'électricité agit sur l'argent avec beaucoup plus de promptitude quand la surface du métal a été préalablement iodée ; mais cette distinction peut être regardée comme illusoire.

» J'ai constaté, en effet, que l'action de très-petites étincelles sur une plaque d'argent est *instantanée*, et que les taches qu'elles y forment, bien qu'elles ne soient pas immédiatement visibles, y existent néanmoins dès les premiers instants. Il n'est pas nécessaire, pour altérer la surface métallique, de prolonger, comme l'a fait M. Matteucci, le courant d'étincelles ; un écoulement électrique instantané, sans affecter visiblement le métal, provoque à sa surface une altéra-

Digitized by Google

tion profonde et durable, qui se manifeste dès qu'on dirige sur la plaque le souffle humide de l'haleine. La vapeur se condense tout autour de la partie qui a reçu l'électricité, et ternit la surface métallique ; mais les points affectés par le fluide électrique restent brillants et semblent mouillés par une couche d'eau transparente. Ces points-là jouissent donc de la propriété de condenser les vapeurs autrement que les autres. Il y a dans ce fait une analogie non encore signalée, avec les images de Moser.

» Renonçant aux plaques métalliques isolées, je suis conduit à examiner l'action de l'électricité sur les papiers photographiques. Leur sensibilité électrique est extrême.

» Je prends une feuille de papier enduite d'une couche uniforme de *bromure d'argent*, et bien sèche. Après l'avofr posée ou collée sur un plateau métallique isolé communiquant avec le conducteur de la machine électrique, on présente au papier électrisé, à une distance de 1 ou 2 millimètres, une pointe métallique très-fixe que l'on tient à la main et qui *s'électrise négativement par influence*. On voit aussitôt se former, en regard de la pointe, une tache arrondie d'un brun noirâtre, qui en suit tous les mouvements et que l'on peut étendre à volonté. La coloration ainsi obtenue a une nuance brune, fondue, semblable à celle qu'engendre la lumière, et produisant, quand on déplace lentement la pointe, l'effet d'un pinceau qui estompe. L'expérience réussit très-bien avec un petit faisceau de fils fins de platine liés à une tige de métal.

» On peut aussi mettre la pointe métallique *en contact* avec le papier, et la faire glisser doucement sur sa surface ; la coloration est alors d'un noir vif limitée aux points que l'on a touchés, et l'effet est celui d'un crayon qui écrit. Pour éviter que la pointe déchire le papier, on engage un fil métallique dans l'axe d'un tube de verre capillaire, que l'on fond à son extrémité pour qu'il y ait adhérence, et l'on coupe toute la partie excédante du fil : le tube et la pointe glissent alors librement sur le papier.

» L'expérience ne réussit pas quand le papier est légèrement mouillé.

» Le bromure d'argent, qui est si sensible à l'électricité négative, n'éprouve aucune altération *apparente* quand on l'expose au flux d'électricité positive qui s'écoule d'une pointe adaptée au conducteur de la machine électrique.

Digitized by Google

» Enfin, j'ai constaté que l'influence de l'électricité a lieu dans une obscurité complète sur des papiers préparés pendant la nuit, et que, par conséquent, elle est totalement indépendante de toute action préalable ou simultanée des rayons lumineux.

» Les papiers enduits de nitrate d'argent seul, ou de chlorure d'argent, ont peu de sensibilité électrique. Les papiers recouverts d'iodure d'argent, qui sont peu sensibles à l'influence de la lumière, sont, au contraire, très-impressionnables par le fluide électrique. Ils offrent de plus que les autres cette particularité, qu'ils sont affectés d'une manière différente, il est vrai, soit par l'électricité qui s'écoule d'une pointe positive, soit par celle qui émane d'une pointe négative. Le fluide négatif y forme une tache noire, arrondie; le fluide positif détermine, dans tous les filets de papier où il se répand, une coloration violacée de forme rayonnante.

» Ce double phénomène est dû à la décomposition de l'iodure d'argent. L'iode se porte à la pointe positive, et donne la coloration en violet; l'argent réduit se porte à l'autre pointe, et détermine la tache noire. C'est aussi à une décomposition du même genre qu'il faut attribuer l'action de l'électricité sur les papiers enduits de bromure d'argent; et si, dans ce cas, on n'aperçoit pas de coloration sensible autour de la pointe positive, cela provient de ce que le brome qui s'y porte disparaît en raison de sa grande volatilité.

» Voici une expérience curieuse qui m'a confirmé dans cette pensée. J'ai exposé un papier enduit de bromure à l'action directe des rayons solaires, jusqu'à ce que sa teinte soit devenue aussi foncée que possible; alors je l'ai soumise à l'influence électrique de deux pointes de métal communiquant, l'une avec le conducteur de la machine, l'autre avec le sol. Aussitôt la nuance ardoisée du papier a passé au noir tout autour de la pointe négative et a formé une tache arrondie, tandis qu'en regard de la pointe positive il a apparu une espèce d'étoile blanche très-gracieuse, indiquant, par ses ramifications, la distribution rayonnante du fluide vitré à la surface des fibres du papier. En renversant l'ordre des communications et faisant écouler du fluide vitré sur la tache noire, du fluide résineux sur l'étoile blanche, on fait repasser celle-ci au noir et la première au blanc. Un fait digne de remarque, c'est que la lumière n'agit plus qu'avec une excessive lenteur sur les taches blanches étoilées produites par l'élec-

Digitized by Google

tricité positive et qu'une exposition de plus de trois heures aux rayons directs du soleil, tout en affaiblissant leur éclat, n'a pas suffi pour en effacer complètement la trace.

» J'ai étudié en dernier lieu l'action qu'exerce sur les papiers photographiques la décharge de la bouteille de Leyde.

» En faisant l'expérience avec le perce-carte, le papier est troué, et, sur la face bromurée, le trou est environné d'une auréole brune qui a les mêmes apparences, soit qu'on lui ait présenté l'armature positive ou l'armature négative. Cette coloration obtenue indifféremment avec les deux armatures de la bouteille de Leyde, me paraît une confirmation nouvelle du principe que l'électricité se transmet par un mouvement vibratoire moléculaire, et non par un mouvement de transport. Voici, du reste, à l'appui de ce principe un fait de coloration plus remarquable obtenu sur les papiers photographiques par l'étincelle du condensateur. Au lieu de faire passer la décharge au travers du papier, à l'aide de deux pointes métalliques en regard, je la fais glisser sur la surface, en mettant en contact, avec la face préparée, les deux pointes d'un excitateur universel. Le papier doit être sec et reposer sur un appui isolant. On fait passer l'étincelle d'une bouteille bien chargée, d'une pointe à l'autre, à une distance de 4, 5 et même 6 centimètres, et la trace de cette étincelle est immédiatement imprimée sur le papier par une traînée rougeâtre qui en reproduit tous les contours, toutes les sinuosités, et qui ressemble à une véritable égratignure. Il me paraît intéressant d'avoir obtenu ainsi, malgré tout ce qu'il y a de fugitif dans son apparition, la forme si capricieusement brisée de l'étincelle électrique dessinée par elle-même. Un autre moyen infaillible de réussir consiste à mettre le papier verticalement entre les deux pointes, l'une en haut, l'autre en bas, à plusieurs centimètres de distance. Le fluide électrique glisse sur le papier, il le perce à la hauteur de la pointe négative, et laisse sur sa surface une longue traînée sinueuse. En faisant l'expérience dans le vide, on a une tache beaucoup plus dilatée, mais peu visible à cause de l'expansion que prend le fluide électrique.

» On déduit de ce qui précède un moyen aussi simple qu'infaillible d'obtenir des empreintes électriques que j'appelle *électrographies*. Le principe consiste à multiplier le nombre des étincelles qui jaillissent à la surface du papier photographique, en suivant les contours d'un

Digitized by Google

dessin, afin de multiplier les tâches qui s'y déposent. Par exemple, sur la surface d'un carreau étincelant, je pose une feuille de papier *sec* enduit de bromure ou d'iodure d'argent, et je l'y appuie à l'aide d'une lame de verre légèrement pressée contre le carreau. Je fais alors passer à travers le ruban métallique la decharge d'une forte bouteille de Leyde ; chaque solution de continuité est marquée par une étincelle, et des taches se forment sur le papier à tous les points correspondants. On obtient ainsi une représentation très-exacte du dessin tracé sur le carreau.

» L'empreinte des étincelles électriques reproduites avec toutes leurs sinuosités, le nouveau système d'électrographie qui en résulte, et la coloration rapide des papiers sensibles par le fluide électrique qui s'écoule d'une pointe, sont des expériences qui me paraissent mériter de prendre place désormais dans les cours. »

Dernières recherches de M. Riess. —M. Riess a fait récemment une longue étude des images électriques, quoiqu'elle soit en dehors des recherches optiques nous l'analyserons brièvement.

Mais, auparavant, décrivons un nouveau procédé électrographique découvert en 1845 par ce célèbre professeur : On humecte, d'un côté, avec une solution d'iodure de potassium, un carton de papier collé, on le sèche soigneusement avec du papier Joseph, après quoi on le met sur une plaque de métal bien unie, qui communique avec la terre. Il faut que le papier soit assez humide pour conduire aisément l'électricité, on le recouvre alors avec une lame mince de mica de 0,02 a 0,05 ligne d'épaisseur, et sur cette lame on met le sceau dont on veut avoir l'empreinte ; il est essentiel que la lame de mica soit uniforme et ne conduise pas l'électricité ; on dépose à un quart de ligne l'une de l'autre, deux petites sphères de métal, dont l'une est mise en communication avec le sol, tandis que l'autre est isolée et communique avec le conducteur d'une machine électrique : De la seconde boule, part un fil d'argent fin, auquel est fixé un poids de deux onces qui repose sur le sceau. Il suffit de 40 à 80 tours d'un plateau de deux pieds de diamètre, suivant la grandeur du sceau, et l'épaisseur de la lame de mica, pour produire une image nette et complète. Les parties en relief du sceau sont reproduites sur le papier par la coloration de l'iode ; mais, au bout de peu de minutes, les contours perdent leur netteté, parce que l'iode s'étend. Pour

Digitized by Google

obvier à cet inconvénient, on recouvre les images avec une couche d'une solution épaisse de gomme arabique : elles se conservent ainsi pendant long temps, en perdant quelque peu, toutefois, de la netteté qu'elles présentaient immédiatement après l'expérience. Les parties du modèle, qui se reproduisent avec une netteté parfaite, sont celles qui ont été immédiatement en contact avec le mica.

Pour obtenir l'empreinte d'un manuscrit, on le fixe sur du papier fortement collé, après quoi on le serre aussitôt contre du papier légèrement collé, qu'on a humecté avec la solution d'iodure et séché modérément.

Quelle que soit l'espèce d'électricité dont on fasse usage, les images apparaissent de la même manière, du moins dans ce qu'il y a d'essentiel : cependant elles sont plus difficiles à obtenir, et moins parfaites avec l'électricité négative qu'avec l'électricité positive, et souvent dans ce dernier cas elles sont gâtées par des taches d'iode.

Revenons à l'étude générale des images électriques.

L'électricité qui chemine sur la surface polie d'un corps, y laisse des traces qui ne sont pas immédiatement reconnaissables, mais qui, rendues visibles par certains procédés, constituent alors les figures et images électriques : elles sont de différents genres.

I. *Dessins électriques primaires.*

Les dessins électriques primaires sont visibles par l'électricité qui agit par attraction ou par répulsion sur les particules de poussière ; ils se remarquent, en conséquence, seulement à la surface des mauvais conducteurs ; ils sont différents, suivant l'espèce d'électricité qui leur donne naissance.

Les figures de poussière se produisent lorsque l'électricité arrive sur une plaque par décharge continue ; la décharge continue et l'excitation électrique, par influence, ne les donnent pas. Ces figures sont, en conséquence, toujours formées par l'espèce d'électricité qui, dans la décharge, se trouve en excès ; elles sont caractérisées par leurs formes diverses, suivant l'espèce d'électricité : et, quand on a fait un choix judicieux de la poudre, par la manière dont celle-ci est répartie, ou par la couleur.

Les images de poussière se constituent, quelle que soit l'espèce d'électricité, même sous l'excitation électrique par influence. C'est

Digitized by Google

même par cette dernière qu'on les obtient le plus fréquemment et qu'elles sont les plus belles. Elles sont donc, la plupart du temps, formées par une espèce d'électricité contraire à celle appliquée au modèle. D'après le choix de la poudre, elles sont, avec des électricités, d'espèces diverses, différemment dessinées et colorées.

II. *Dessins électriques secondaires*

Les dessins électriques secondaires ne deviennent visibles que par un changement mécanique ou chimique produit à la surface d'une plaque par des décharges électriques ; ils se manifestent sur des plaques de toute matière et ne diffèrent pas, quelle que soit l'espèce d'électricité employée. Ils se partagent en deux groupes, suivant que le changement affecte seulement la couche étrangère qui couvre la plaque, cas auquel on rend les dessins visibles par la condensation de vapeurs ; ou suivant que la substance même de la surface a été modifiée, cas auquel ils sont visibles immédiatement.

1° *Dessins visibles par la condensation de vapeurs.* Les *figures d'expiration* résultent d'une simple décharge électrique, et sont différemment conformées suivant la matière de la plaque sur laquelle elles se produisent. Sur la résine, elles sont rubanées ; sur les métaux, circulaires ; sur le verre et le mica, plusieurs fois anastomosées.

Les *images d'expiration* résultent de décharges qui se suivent dans une direction alternativement opposée. Elles ne diffèrent point, suivant la nature des plaques, mais une différence sans importance (la confusion plus ou moins prononcée de l'image) est souvent due à la plus ou moins grande netteté des plaques.

2° *Dessins visibles immédiatement.* Les bandes colorées se produisent par une décharge électrique vive sur la surface du mica et du verre tendre ; elles se présentent comme des bandes colorées bordées de deux lignes noires très-bien arrêtées.

Les *anneaux colorés* proviennent des décharges qui ont eu lieu entre une pointe et une surface métallique polie.

Les *images persistantes* naissent sur toutes les plaques par suite d'une série de décharges alternativement opposées, et qui persistent longtemps après la naissance de l'image d'expiration parfaite.

Les *images électrolytiques* se produisent sur du papier qu'on a plongé dans une liqueur décomposable appropriée, au moyen d'une

Digitized by Google

série de décharges alternativement contraires, dont la moitié seulement a de l'influence, et dans lesquelles une espèce d'électricité déterminée se décharge sur le papier.

Par suite de ses recherches, l'auteur a fait connaître la propriété remarquable que possède le mica frais, de condenser la vapeur d'eau en une masse cohérente, et hasarde une explication des formes variées des figures de poussière, phénomène jusqu'à présent enveloppé d'épaisses ténèbres.

La note suivante de M. Bertot, résume assez bien tout ce qui précède : il suffira ensuite de quelques mots pour éclairer cette vaste question de la formation des images à la surface des corps.

Nouveaux moyens pour obtenir des images de Moser, par M. BERTOT. — « Je suis parvenu à produire, avec la plus grande facilité, les images de toute espèce de corps sur une plaque polie, et cela, en employant seulement le souffle de l'haleine : la nature de la plaque qui doit recevoir l'image, est absolument indifférente, pourvu qu'elle puisse condenser la vapeur de l'haleine d'une manière visible. J'ai observé, contrairement à M. Morren, que plus les surfaces étaient soigneusement débarrassées de corps étrangers, plus les images étaient parfaites.

« Si l'on fait l'expérience avec une pièce de monnaie, il suffit de projeter à sa surface la vapeur de l'haleine, de poser rapidement la pièce sur la plaque polie, exempte d'humidité, et de l'enlever aussitôt. L'image est visible, mais elle est fugitive ; à mesure que l'humidité s'évapore, l'image s'évanouit. Vient-on à projeter la vapeur de l'haleine sur la plaque, à la place où se voyait l'image, elle se reproduit encore, mais affaiblie, et elle offre cette particularité que la lumière et les ombres de la première image sont renversées : la seconde image est donc négative.

» Dans mon opinion, les images de MM. Moser, Knorr, Karsten, Masson, Morren, sont produites par une action complexe ; les deux corps mis en présence tendent à se mettre en équilibre de température ; il en résulte une condensation de la vapeur d'eau dissoute dans l'air interposé, laquelle retire le poli des surfaces, soit par une action électro-chimique, soit par une action seulement mécanique, soit par ces deux causes à la fois.

» Si l'on fait intervenir une action chimique avec la vapeur d'eau,

Digitized by Google

l'image devient permanente, et la vapeur d'eau s'évanouit en laissant les résultats de l'action chimique : ainsi, après avoir produit une image sur une plaque de cuivre poli, par le procédé que j'ai indiqué, si l'on porte la plaque rapidement au-dessus d'un vase contenant de l'ammoniaque liquide, la plaque garde fidèlement l'empreinte plus ou moins parfaite, selon qu'on a opéré au moment le plus convenable. J'ai obtenu ainsi sur cuivre des copies de dessins, de gravures, de caractères imprimés, avec la seule précaution de saturer auparavant le papier de la vapeur de l'haleine, et de les mettre quelques instants en contact avec la plaque polie; si l'on opère avec une feuille imprimée, les lettres du recto et du verso se peignent à la fois. Enfin, la plaque transmet à une autre plaque l'image qu'elle a reçue.

» La vapeur d'eau me paraissant jouer dans la production de ces images un rôle capital, je proposerais de leur donner le nom d'*hydrographies.*

» Le chlore gazeux communique une remarquable sensibilité pour la vapeur d'eau à la plaque de cuivre; les moindres émanations aqueuses donnent au *chlorure rose vif* un aspect bleu mat. Les hydrographies sont très-belles et très-nettes quand la plaque a reçu d'avance cette préparation.

» Mais le *chlorure rose* de cuivre jouit d'une propriété que je crois signaler le premier, c'est celle de se laisser impressionner dans la chambre obscure et de condenser ensuite les vapeurs mercurielles, comme l'iodure d'argent des plaques daguerriennes. Le temps de l'exposition dans mes expériences n'a pas été moindre d'une demi-heure; j'ignore si ce temps peut être abrégé par l'emploi de substances accélératrices, le temps ne m'ayant pas encore permis de rendre complètes ces expériences et quelques autres dont je compte mettre prochainement les résultats sous les yeux de l'Académie. »

Arrêtons-nous, et regrettons d'avoir été comme forcé d'accorder une si grande place à cet ensemble mystérieux de tant de procédés d'impression dont on n'avait pas autrefois soupçonné même l'existence. Nous aurions pu beaucoup nous restreindre, parce qu'il est bien évident, il nous semble, que toutes ces images, sans en excepter celles de Moser, ne sont pas un phénomène optique. La théorie de leur formation peut se résumer en quelques mots : lorsqu'un objet quelconque, présentant dans ses limites extérieures ou à sa surface,

Digitized by Google

des inégalités sensibles, des reliefs et des creux, est amené au contact ou à une très-petite distance d'une plaque placée dans certaines conditions, il y imprimera son image. Cet effet est simplement le résultat des actions inégales exercées à la surface de la plaque par les molécules inégalement distantes des creux et des reliefs suivant lesquels se dessinent les limites du corps dont il s'agit. La principale condition de succès consiste en ce que la surface de la plaque, en fixant une certaine quantité d'air ou de gaz s'en fasse comme une sorte d'atmosphère. La seule présence de cette couche insensible de gaz suffit quelquefois à la visibilité de l'image, mais cette visibilité est grandement accrue par la plupart des agents physiques naturels, la lumière, la chaleur, l'électricité, etc. ; en ce sens, surtout, qu'en impressionnant la surface de la plaque, ces divers agents la rendent propre à condenser inégalement les vapeurs sèches ou humides; et c'est au fond cette condensation inégale qui constitue proprement la visibilité de l'image : cette visibilité sera plus grande encore, en général, si la vapeur agit chimiquement à la surface de la plaque. Quand on y réfléchit profondément, on s'étonne de voir ces différences infiniment petites entre les attractions ou les répulsions des molécules mises en présence sur le corps et sur la plaque, se manifester par la production d'une image parfaite du corps.

Qu'on nous permette, en finissant, de raconter l'histoire de la plus célèbre des images ainsi formées : M. Marx l'a transcrite dans l'ouvrage qui a pour titre *Das land Tyrol*, tome 1er, page 402. Le 17 janvier 1797, au village d'Absam, la fille du laboureur Jean Prichler, découvrit tout-à-coup, sur une des vitres de la fenêtre, une image de la Sainte-Vierge, faisant complètement l'effet d'une gravure. Le bruit de cette découverte se répandit rapidement dans tous le voisinage, les curieux accoururent de tous côtés, le peuple partout cria au miracle. Le doyen d'Inspruch, le juge de Tœur et un vitrier du pays, tinrent conseil, et restèrent convaincus qu'il n'y avait de la part du propriétaire de la maison aucune supercherie. Le doyen prit la vitre et la porta à Inspruch, où, sur l'ordre du gouverneur, elle fut soumise à l'examen de juges-compétents. Parmi eux, se trouvait François Zollinger, professeur ; un jésuite, Martin Schœpfer, professeur de chimie; et le peintre connu, Joseph Schœpf. Le resultat de l'examen fut, qu'autrefois, la vitre avait été une peinture sur verre,

Digitized by Google

peinture qu'on avait fait disparaître, mais qui avait laissé une empreinte. C'était cette empreinte, redevenue visible à la manière des images de Moser, que la jeune fille avait aperçue, et dans laquelle les bons Tyroliens s'obstinèrent à voir une image miraculeuse.

Nous avons encore à analyser quelques études importantes des rayons chimiques, et, entre autres, la série curieuse des mémoires de M. Draper, le plus connu aujourd'hui des physiciens de l'Amérique. M. Draper a d'abord beaucoup erré; ce n'était pas même assez pour lui de la lumière latente de M. Moser; il inventa un nouvel agent, la *tithonicité*, dont il défendit trop longtemps l'existence, contre la répulsion universelle et les objections insolubles de l'universalité des physiciens. Heureusement que, convaincu par ses propres recherches, M. Draper en est arrivé à désavouer complètement l'abstraction qu'il avait voulu transformer en être réel.

TRAVAUX DE M. DRAPER. — PREMIER MÉMOIRE. — *Février* 1840. — *Sur les effets chimiques des rayons solaires.* — 1° La lumière qui a traversé certaines solutions salines, le chromate de potasse, par exemple, ou des infusions végétales colorées, perd la propriété de noircir le papier imprégné de chlorure d'argent; ces liquides sont en général jaunes, d'autres liquides communiquent à la lumière la propriété de colorer le papier sensible de diverses nuances. La lumière transmise à travers ces liquides jaunes, favorisent néanmoins la décomposition de l'acide carbonique dans l'acte de la végétation et sous leur action les plantes ne cessent pas d'être vertes. 2° Si sous une cloche où l'on a fait le vide, et bien sèche, on place des fragments de camphre, il se déposera des cristaux en grand nombre sur le côté exposé au rayon solaire, peu ou point sur le côté placé dans l'ombre ou dans l'obscurité, ou abritée par une feuille d'étain : la vapeur d'eau aussi se dépose sur la partie éclairée : la lumière a donc une influence réelle sur la cristallisation et la condensation des vapeurs.

DEUXIÈME MÉMOIRE. — *Sur quelques analogies entre les phénomènes causés par les rayons chimiques et calorifiques.* — *Septembre* 1841. — 1° Sur une plaque daguerrienne le mercure recouvre toute la surface, les ombres aussi bien que les clairs; à l'état métallique sur les ombres, à l'état d'amalgame d'argent sur les clairs: avec le temps le mercure s'évapore sur les ombres qui sont dues alors à l'argent métallique. 2° La lumière qui agit sur la plaque iodurée ne dégage-

Digitized by Google

rait pas la plus petite portion d'iode, elle imprimerait seulement à l'iodure transformé probablement en sous-iodure une tendance à céder au mercure l'argent avec lequel il est combiné : à cette tendance se joint l'affinité de la couche inférieure d'argent pour l'iode séparé. L'image serait donc due à l'action corrosive combinée de l'iode et du mercure sur l'argent ; elle serait une véritable gravure : en forçant l'iode à continuer son action, on transformerait la plaque en planche pouvant servir au tirage, c'est le problème résolu par M. Grove. 3° L'action chimique dépendrait des rayons lumineux, comme l'augmentation de chaleur dépend de l'absorption des rayons calorifiques ; en effet, ces rayons qui après avoir impressionné une première plaque, sont réfléchis sur une seconde, ne la colorent pas : comme le rayon jaune est le seul sans action, il doit être seul réfléchi, les autres sont absorbés. Ceci expliquerait pourquoi l'iodure jaune d'or est si sensible. De même aussi que la chaleur communiquée par les rayons solaires se dissipe bientôt, l'effet produit par la lumière sur la plaque iodurée n'est que transitoire, il s'évanouit dans l'obscurité. 3° Si l'on place sur une lame froide de verre ou de métal un corps quelconque ayant une forme déterminée, que l'on souffle une seule fois sur cet objet, puis, qu'après avoir attendu que l'humidité de l'haleine se soit dissipée, on souffle une seconde fois sur la place qu'il occupait, on verra une représentation fidèle de l'objet. Le simple contact du corps semble avoir communiqué à la surface de la plaque, la faculté de modifier la condensation des vapeurs, à peu près comme la lumière influence le mode de condensation du mercure. Il serait donc vrai que M. Draper peut disputer à M. Moser la gloire de sa brillante découverte. 4° L'action de la lumière sur la plaque iodurée n'est pas instantanée, elle ne s'accroit pas régulièrement ; mais après un certain temps, il y a comme un temps d'arrêt pendant lequel beaucoup de lumière est absorbée, sans produire d'effet visible ; après quoi l'effet recommence : y aurait-il donc une lumière latente, comme il y a une chaleur latente. Ici encore, M. Draper a devancé M. Moser. 5° La sensibilité de l'iodure d'argent pour la lumière n'est pas constante ; elle présente des changements périodiques dépendant plus des qualités optiques de la couche, que de la composition chimique : on modifiera donc la sensibilité de la couche en changeant sa condition optique, et il importe grandement que la surface entière présente le

Digitized by Google

même état d'aggrégation et de couleur. 6° Les rayons chimiques absorbés semblent complémentaires des rayons réfléchis. 7° La nature des effets chimiques de la lumière annonce plutôt un état vibratoire qu'une matière entrant en combinaison, elle est donc favorable à la théorie des ondulations.

TROISIÈME MÉMOIRE. — *Sur quelques apparences lumineuses ressemblant à des spectres, et sur la lumière latente.—Novembre* 1842. — 1° L'auteur réclame la priorité de la découverte des images de Moser ; nous avons rappelé précédemment ses titres. 2° Il envoie une impression photographique du spectre solaire obtenue, au brillant soleil de la Virginie du Sud, et qui prouve qu'il y a une classe de rayons chimiques qui commencent précisément là où se terminent les rayons bleus du spectre, qui s'étendent au delà du rouge extrême, au-delà des rayons gris lavande de M. Herschel, et qui détruisent en totalité l'effet produit par l'action de la lumière diffuse. On distingue dans cette même image six espèces d'actions, dues à six espèces de rayons rangés dans l'ordre suivant, en commençant par les plus réfrangibles : rayons protecteurs ; rayons qui blanchissent ; rayons qui noircissent ; rayons qui blanchissent avec une grande intensité ; rayons qui blanchissent faiblement ; rayons protecteurs. 4° Il n'est pas impossible que la lumière solaire des régions tropicales diffère intrinséquement de celle des régions tempérées.

QUATRIÈME MÉMOIRE. — *Sur une nouvelle substance impondérable, et sur une espèce de rayons chimiques analogues aux rayons calorifiques obscurs. — Décembre* 1842. — 1° M. Draper veut avoir démontré que les effets chimiques des rayons solaires appartiennent à un nouvel agent impondérable, lequel diffère à la fois de la lumière et du calorique, et qui n'est pas l'électricité : il propose d'appeler ces rayons, *rayons tithoniques*, et cet agent *thitonicite* du nom de Tithon, le vieil époux de l'aurore. La thitonicité, comme la chaleur, pénétrant les corps d'une manière transitoire, y produirait des changements spécifiques, puis s'en dégagerait lentement et d'une manière insensible par radiation. Les rayons tithoniques sont comme la chaleur, susceptibles de devenir latents dans les corps, soit pour un temps, soit d'une manière permanente : ces rayons existeraient sur tous les points du spectre : ils seraient complètement indépendants des rayons visibles dont on les sépare facilement au moyen

Digitized by Google

de milieux absorbants. M. Draper aurait même trouvé des rayons bleu et indigo sans aucune action chimique sur les substances qu'il employait. On prouverait l'indépendance de ces rayons par rapport aux rayons calorifiques en s'appuyant des faits suivants : la lune, dont la lumière ne manifeste presque aucune chaleur, trace facilement son image sur la plaque iodée : le cuivre chauffé même au rouge, la chaleur acquise par les corps incandescents sont sans action chimique ; l'élévation de température de la plaque ne l'impressionne point, etc. Si, après qu'une plaque a été impressionnée par la lumière, on place au-dessus de sa surface, dans l'obscurité, un écran métallique pendant plusieurs heures, puis qu'on l'expose aux vapeurs de mercure, la portion couverte n'éprouvera aucun changement ; les rayons tithoniques se sont donc dissipés par rayonnement. En s'échappant ainsi sous forme de rayons obscurs, la tithonicité n'aurait pas perdu sa force chimique : une plaque impressionnée placée dans l'obscurité au-dessus d'une seconde plaque qui n'a pas été soumise à l'action de la lumière, lui communique, à son détriment, la faculté de condenser les vapeurs de mercure. En recouvrant la plaque iodée d'un verre limpide et transparent, on arrête l'irradiation : comme MM. Herschel et Becquerel ont reconnu que le verre interposé hâtait l'impression photographique, il faut absolument admettre qu'après l'action produite, les rayons tithoniques ne peuvent plus traverser le verre et d'autres substances, à travers lesquelles ils passaient autrefois avec facilité.

CINQUIÈME MÉMOIRE. — *Sur des espaces tithonographiques sans action chimique dans le spectre solaire, analogues aux lignes fixes de Fraunhofer.* — *Mai* 1843. — Sous ce titre prétentieux, nous retrouvons simplement une démonstration incomplète de la présence dans le spectre chimique des raies de Fraunhofer : M. Draper retrouve une partie des lignes obscures signalées par M. Becquerel, et les aurait retrouvées toutes s'il avait pris soin d'agrandir et de bien épurer son spectre.

SIXIÈME MÉMOIRE. — *Du thithonotype ou art de multiplier les épreuves daguerriennes.* — *Mai* 1843. — 1° L'auteur, par le procédé suivant, est parvenu à obtenir sur de la colle de poisson des copies d'épreuves daguerriennes. Il recouvre l'épreuve qu'il veut copier d'une mince pellicule d'or, et il place la lame bien horizontalement sur des supports dans le courant d'air chaud qui s'échappe d'un

Digitized by Google

poèle. La plaque est ensuite recouverte d'une couche d'une dissolution bien claire de colle de poisson, couche qui doit avoir un sixième de pouce d'épaisseur, on la laisse alors sécher lentement, et dès qu'après deux ou trois heures la dessication est opérée, la couche de colle se sépare de l'épreuve, et, en l'examinant à la lumière, soit transmise, soit réfléchie, elle présente une copie exacte et minutieuse de l'original; 2° M. Draper voudrait que, par l'influence de la lumière, la couche d'argent iodurée fut polarisée dans toute son étendue: que ses molécules fussent dans l'état où se trouvent les molécules d'eau, entre les fils de platine qui forment les pôles de la pile: en vertu de cette polarité, l'iode serait du côté de la lame et l'argent viendrait à la surface. Par l'exposition aux vapeurs de mercure, l'argent de la surface s'amalgamerait, et l'iode du fond de la couche se combinerait avec du nouvel argent; il y aurait dans l'intermédiaire une série de composition et de décomposition. M. Draper, comme tant d'autres, a cédé à la manie d'envelopper de grands mots des faits très-simples: il était dans la destinée des mots polarisation, polarisé, d'être mis à toute sauce; on leur a tant donné de significations, qu'ils ne signifient plus rien; 3° M. Draper ne veut pas de la lumière latente de M. Moser, et des couleurs dont celui-ci la revêt.

Septième mémoire. — *Sur un changement apporté dans les propriétés des corps élémentaires par leur exposition au soleil.* — 28 *avril* 1843. — 1° Le chlore qui a été exposé au soleil ou à la lumière diffuse du jour, possède des propriétés que n'a pas le chlore préparé et maintenu dans l'obscurité: cette différence tiendrait à ce que, dans le premier cas, le chlore aurait absorbé des rayons tithoniques d'une réfrangibilité correspondante à celle de l'indigo, et qui restent à l'état latent: cette absorption donne au chlore la propriété permanente de se combiner directement et promptement avec l'hydrogène, propriété que n'a point le chlore soustrait à la lumière; 2° Après avoir communiqué au chlore cette faculté nouvelle, la lumière serait elle-même modifiée, elle perdrait sa tithonicité, et ne produirait plus d'effets chimiques: ne serait-ce pas tout simplement parce que le chlore ne laisse passer que de la lumière jaune? 3° M. Draper a disposé sur une cuve de porcelaine dix tubes renversés égaux, contenant chacun un mélange identique de chlore préparé dans l'obscurité et d'hydrogène; puis il éclairait tour-à-tour

Digitized by Google

les tubes de rayons colorés empruntés au spectre et en partant du rouge. Les actions comparées des diverses couleurs sont exprimées par les nombres suivants : extrême rouge, 0; rouge et orangé, 1; jaune et vert, 1,90; vert et bleu, 25; bleu, 42,90; indigo, 66,60; indigo et violet, 50; premier violet, 44,40; second violet, 20; violet extrême, 18,10. L'action maximum appartient donc à l'indigo. Ce procédé ingénieux, de mesurer l'action chimique par la formation de l'acide chlorhydrique et la diminution de l'espace qui résulte, dans le tube, de son absorption par l'eau, est préférable, sans contredit, à la comparaison toujours défectueuse des teintes des impressions photographiques. L'action chimique de tous les rayons est positive, tous, même le rouge, avaient commencé à tithoniser le chlore, et si l'expérience eût été continuée assez longtemps, l'acide chlorhydrique se serait formé; le liquide aurait monté dans tous les tubes. Quand on expose à la lumière diffuse les tubes, où les rayons colorés n'ont rien produit, on voit les gaz se combiner plutôt que dans les tubes restés dans l'obscurité absolue. 3° M. Draper a déterminé le temps nécessaire à la formation d'une même quantité d'acide chlorhydrique dans les différentes phases de l'opération : on opérait à la lueur d'une lampe; il s'écoula 600 secondes avant toute formation d'acide chlorhydrique; pour la combinaison des gaz contenus dans une des divisions égales du tube, il fallut pour la première, 480 secondes; pour la seconde, 155; pour la troisième, 130; pour la quatrième, 95; pour la cinquième et chacune des suivantes, régulièrement, 93 secondes. Il s'écoule donc un temps réel et assez long pendant lequel l'absorption des rayons lumineux a lieu sans combinaison chimique : cette absorption n'est point passagère; si, après qu'elle a eu lieu, on soustrait le mélange à l'action de la lumière pendant un certain nombre d'heures, et qu'on l'éclaire de nouveau, la combinaison recommence sur-le-champ, comme cela aurait eu lieu si on n'avait pas interrompu l'expérience. Il est probable, cependant, qu'après un temps trop long, l'effet de l'absorption se dissiperait; 5° Le phosphore de couleur ambrée ou blanche, tenu au soleil dans un vase rempli d'acide carbonique, devenait promptement d'un rouge de sang; des cristaux soyeux rouges se sublimaient dans le tube du côté éclairé; le même phénomène se reproduit dans le vide et divers gaz inertes. Le poids du phosphore et ses pro-

Digitized by Google

priétés chimiques ne changent pas dans sa *tithonisation*; fondu sous l'eau, il reprend sa couleur et son apparence primitive.

HUITIÈME MÉMOIRE. — *Sur la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles sous l'influence de la lumière. — Septembre* 1844. — Dans une série de petits tubes éclairés chacun par des portions particulières du spectre, M. Draper mettait de l'eau imprégnée d'acide carbonique et quelques brins d'herbe ou gazon : après un temps donné, il y avait dans le tube rouge à peine une bulle, dans le tube orangé quelques bulles, beaucoup plus dans le jaune, moins dans le vert, et rien dans le bleu indigo, le violet, les rayons invisibles. Répétée avec le plus grand soin et en présence de témoins compétents, cette expérience a donné pour les quantités du mélange dégagé d'azote et d'oxigène, les nombres suivants : 1° extrême rouge et rouge, 0,0 ; 2° orangé et jaune, 19,8 ; 3° jaune et vert 27,4 ; 4° bleu, 0,5 ; 5° indigo et violet, 0,0. Les gaz fournis par les rayons orangé et jaune, jaune et vert, ne contenaient aucune trace d'acide carbonique : ils renfermaient 41 d'oxigène et 59 d'azote ; cette forte proportion d'azote est assez difficile à expliquer.

NEUVIÈME MÉMOIRE. — *Sur le spectre lumineux produit par l'interférence des rayons solaires, et sur l'absorption des rayons chimiques.* — Il est difficile, avec le spectre donné par le prisme, de déterminer la distribution ou l'intensité de la lumière, parce que l'extrémité violette prend un épanouissement excessif. Le jaune n'est point au centre, comme cela devrait être, et les couleurs sont étalées d'une manière anormale. Il n'en est pas ainsi du spectre donné par les interférences, et c'est sur ce spectre que M. Draper a cru devoir opérer.

Au moyen d'un héliostat, il faisait entrer dans une chambre obscure, un étroit filet de lumière par une fente d'un centième de pouce d'épaisseur : à douze pieds de distance, ce rayon tombait perpendiculairement sur une lame de verre plane rendue miroitante par une lame d'étain, se réfléchissait et venait sortir par la même fente qui lui avait donné entrée ; alors on voyait apparaître de chaque côté une série de spectres d'interférences. M. Draper choisissait le premier spectre de l'une des séries, le séparait par un objectif achromatique, et plaçait au foyer une lame de verre dépolie, sur laquelle les raies du spectre venaient se peindre nettement, et à laquelle on pouvait substituer une surface recouverte d'une couche sensible.

Digitized by Google

On sait que les déviations angulaires du rayon incident, correspondantes à deux couleurs quelconques, sont entre elles comme les longueurs d'ondulations respectives. Fraunhofer, d'ailleurs, a déterminé les longueurs d'ondulations pour toutes les raies ou lignes fixes du spectre ; nous reproduisons ici ce tableau : tout est exprimé en cent millionièmes du pouce français.

Longueur d'onde correspondant à la raie.				B	2541
—	—	—	—	C	2422
—	—	—	—	D	2175
—	—	—	—	E	1945
—	—	—	—	F	1794
—	—	—	—	G	1587
—	—	—	—	H	1464

Ayant placé, dans le spectre d'interférence ainsi formé, une plaque daguerrienne rendue sensible par l'iode ou le brome, il trouva que le maximum d'effet chimique correspondait au rayon dont la longueur d'onde est 1538 : l'action chimique ne s'étend pas également, à partir de ce point, des deux côtés du spectre.

On remplaça cette première lame par une seconde, soumise, en outre, au chlorure d'iode. Le maximum se trouva au même point que pour la première plaque : l'action commença dans le rayon vert et se termina dans le rayon violet : la longueur absolue de la partie impressionnée dépendait visiblement de la durée de l'exposition. Dans les spectres chimiques qu'on obtenait de cette manière, les raies ou lignes fixes étaient très-distinctes, quoique très-rapprochées. Cet emploi de la longueur d'ondulation, pour désigner avec précision la région du spectre ou a eu lieu le maximum d'action, est très-ingénieux et très-précis.

On regarde, en général, comme très-faibles, les effets chimiques produits par une bougie et les autres lumières artificielles; et cependant M. Draper a vu la lumière d'une bougie recomposer l'acide chlorhydrique plus rapidement que ne pouvait le décomposer une pile de Grove assez forte pour rougir à blanc un fil de platine.

Le rayon de lumière qui, après être tombé sur une couche sensible, est réfléchi et reçu sur une seconde plaque sensible ne l'impressionne pas. Ce fait s'explique facilement par la couleur même de la première plaque sensible : M. Draper feint de l'oublier et en conclut que le rayon

Digitized by Google

éprouve une modification analogue à celle qu'il communique à la plaque. Il essaie de même de prouver par l'expérience que les rayons qui sont absorbés par les solutions sensibles, le citrate de fer ammoniacal, par exemple, sont précisément ceux qui ont sur ce sel une action chimique ; et, qu'au contraire, les rayons qui s'échappent sont ceux qui n'ont point d'action. Le citrate ammoniacal de M. Draper est d'un jaune prononcé, et tout le monde sait que les rayons jaunes n'ont qu'une action insensible sur les plaques iodurées. Nous ne croyons donc pas aux lois suivantes énoncées par M. Draper.

1° Quand un rayon agit sur une surface sensible, ou traverse un milieu sensible, la constitution du rayon est modifiée d'une manière correspondante à l'effet chimique produit.

2° Les rayons qui disparaissent par l'absorption sont employés à altérer la constitution du milieu pondérable.

3° Les rayons qui sont devenus inactifs sur le milieu donné, et qui n'ont par conséquent point été engagés dans les changements produits sur lui, s'échappent quand ils sont transmis ou réfléchis.

M. Draper, dans le but de les étendre, rapproche de ces lois divers phénomènes calorifiques ou lumineux; tels que la conversion du péroxide de mercure en protoxide; la fusibilité de l'argent dépoli au foyer d'une forte loupe, tandis que l'argent poli ne peut se fondre ; le fait enfin observé par sir Herschel que les couleurs végétales sont détruites par les rayons de teintes complémentaires : M. Draper passe ensuite aux changements éprouvés par le milieu sensible sur lequel s'exerce l'action chimique. En soumettant dans le tithonomètre un mélange de chlore et d'hydrogène à l'influence d'une lampe d'Argand, on distingue quatre périodes distinctes : 1° le mélange se dilate pendant un court espace de temps ; 2° il reste beaucoup plus longtemps stationnaire, quoique les rayons ne cessent d'y arriver et d'être absorbés : 3° la contraction produite par formation de l'acide chlorhydrique commence d'abord lentement, puis devient plus rapide : 4° après que la contraction est bien établie, elle continue d'une manière uniforme : des quantités égales d'acide chlorhydrique étant produites dans des temps égaux par l'action de quantités égales de rayons

Guidé toujours par des idées préconçues, M. Draper voit dans cette nécessité d'une certaine affluence de rayons, avant tout effet

Digitized by Google

produit, une analogie entre la tithonicité et la chaleur ; l'une ainsi que l'autre serait absorbée à l'état latent.

Étudiant ensuite les modifications éprouvées par le rayon dans son passage à travers le mélange, M. Draper arrive aux conclusions suivantes, fort peu philosophiquement formulées, mais que l'on retournera facilement : l'addition de l'hydrogène au chlore, loin d'accroître le pouvoir absorbant de ce gaz, l'affaiblit. L'action du rayon paraît primitivement exercée sur le chlore seul, qui devient ainsi tithonisé, c'est-à-dire disposé à s'unir à l'hydrogène, lequel, de son côté, reste passif : le rayon à son tour est modifié, il est en parti absorbé et perd son action chimique. L'oxigène, l'hydrogène, l'azote, ne paraissent exercer aucun pouvoir absorbant sur les divers rayons du spectre ; aussi ces corps et tous ceux qui leur ressemblent sous ce rapport, ne peuvent-ils exercer aucune action chimiqne les uns sur les autres, sous l'influence même de la lumière rayonnante la plus intense. Comment se peut-il, qu'après avoir présenté sous un jour si scientifique des particularités bien simples, M. Draper se hâte sitôt de les réduire à la plus simple valeur, en ajoutant : la circonstance d'être transparents et incolores empêche ces gaz d'absorber les rayons tithoniques ; le chlore, au contraire, les absorbe en raison de sa couleur.

L'auteur termine son mémoire par quelques considérations sur l'espèce de rayons lumineux, produisant sur diverses substances l'effet chimique maximum. Il pense qu'il y a un rapport constant entre chaque substance et un rayon d'une certaine réfrangibilité. Pour les sels d'argent le maximum d'effet semble dû aux rayons bleus : le rayon jaune est celui que décompose le plus d'acide carbonique, et colore le plus les plantes en vert. Ne reculant devant aucun aperçu, quelque étrange qu'il soit, M. Draper ose insinuer que le rayon jaune nous paraît le plus brillant à cause de son action sur le carbone qui entre dans la composition de la rétine.

DIXIÈME MÉMOIRE. — *Sur l'allotropie du chlore.* — M. Draper se propose de démontrer qu'une substance chimique, comme le chlore, peut passer de l'état de grande activité à un état absolument passif, dans lequel on voit disparaître ses plus énergiques affinités, et qu'entre ces deux extrêmes, il y a des degrés intermédiaires d'activité et de passivité. Il avait déjà démontré, comme nous l'avons vu, que l'activité du chlore est due à l'influence avec absorption des rayons

Digitized by Google

indigos du spectre solaire; il a reconnu depuis que l'élévation de la température et l'action du platine produisent le même effet. Le chlore, d'ailleurs, qui a une fois éprouvé l'influence du soleil, conserve, dans une certaine limite, la propriété de décomposer l'eau, même dans l'obscurité. Pour mettre bien en évidence ces propriétés, il recommence une nouvelle série d'expériences. Le plus difficile était de prouver péremptoirement que le dégagement consécutif de gaz dans l'obscurité n'était pas une simple évolution de l'oxigène primitivement formé par l'exposition au soleil de la solution chlorée, mais bien l'effet de l'influence continuée du chlore, conséquence des nouvelles propriétés qu'il a acquises pendant son exposition aux rayons lumineux. M. Draper croit y être parvenu. Il démontre aussi expérimentalement que ce dégagement de gaz oxigène n'est pas le résultat d'une propriété analogue à la fermentation, qui se communiquerait, une fois commencée, de particule à particule par une sorte d'action moléculaire; bien loin de là, la faculté dont il s'agit appartient exclusivement aux portions originairement affectées par l'influence solaire. Cette dernière expérience est curieuse : M. Draper exposa au soleil deux ballons, l'un rempli entièrement d'eau chlorée, et l'autre seulement au tiers. Il rejeta l'oxigène produit, et acheva de remplir le second ballon avec de l'eau chlorée préparée et maintenue dans l'obscurité. Les deux appareils séjournèrent ensuite quelques jours dans l'obscurité, puis on mesura les quantités de gaz produites. Loin de les trouver égales, comme il aurait dû arriver, si la portion de la solution chlorée, exposée au soleil dans le second ballon, avait communiqué à la portion ajoutée sa propriété de décomposition, on ne trouva dans le second ballon que le quatorzième environ du gaz renfermé dans le premier.

La propriété de continuer à décomposer l'eau est proportionnelle à la durée de l'insolation, à son intensité, etc. Lorsque l'effet produit par une exposition donnée à la lumière est épuisé, on peut, par une nouvelle insolation, rétablir le dégagement d'oxigène, et cela tant qu'il reste du chlore dissous. Quoique la chaleur augmente la rapidité de la décomposition, il ne paraît pas qu'elle puisse l'opérer seule.

M. Draper revient ensuite au fait capital de la combinaison avec explosion du chlore et de l'hydrogène exposés au soleil; combinaison

Digitized by Google

qu'il attribue uniquement à l'absorption des rayons indigos du spectre. Cette absorption n'est pas due à l'action de l'hydrogène, car le spectre produit par le rayon qui a traversé une certaine masse d'hydrogène est entièrement semblable au spectre ordinaire. Le chlore, au contraire, absorbe tous les rayons lumineux compris entre la ligne fixe et l'extrémité violette du spectre, ou les rayons dont les longueurs d'ondulation varient entre 1,587 et 1,287 millionièmes. D'ailleurs, en traversant un mélange à parties égales d'hydrogène et de chlore, le rayon perd précisément la moitié de son intensité originelle, ou ne produit que la moitié de l'effet exercé par lui lorsqu'il traversait un volume égal de chlore pur. De ces diverses considérations, M. Draper conclut que le chlore est le seul principe actif de la combinaison, dans laquelle l'hydrogène reste purement passif. Il montre directement que le chlore qui, produit et conservé dans l'obscurité, n'a point de tendance à s'unir à l'hydrogène, acquiert cette propriété s'il a été exposé seul pendant quelque temps à la lumière.

De quelle nature peut être ce changement imprimé au chlore par les rayons indigos ? M. Draper pense que, sous leur influence, les propriétés électro-négatives du chlore sont exaltées ; qu'il est comme ramené à l'état naissant, dans lequel, suivant les idées d'Ampère, l'électricité négative essentielle à ce gaz n'est pas dissimulée par l'atmosphère positive. Plusieurs substances simples, l'oxigène, par exemple, éprouvent évidemment des modifications semblables, et il en doit être ainsi de toutes. L'azote lui-même, inerte dans les circonstances ordinaires, développe une extrême énergie comme principe constituant de certains corps organiques. Ainsi donc, préparé comme à l'ordinaire, le chlore est dans un état passif ; mais, sous l'influence des rayons indigos ou d'autres causes, il entre dans une phase d'activité telle, que l'affinité qu'il a alors pour l'hydrogène suffit à la décomposition spontanée de l'eau.

ONZIÈME MÉMOIRE. — *Différence remarquable qui existe entre les rayons de lumière émis par la chaux incandescente et ceux que produit l'étincelle électrique.* — M. Becquerel remarqua, il y a quelques années, que la lumière d'une étincelle électrique ne peut rendre le sulfure de chaux phosphorescent, si elle est transmise à travers un écran de verre. M. Draper, pour répéter cette expérience, dont il a reconnu l'exactitude, a fixé sur une plaque, avec de la gomme dis-

Digitized by Google

soute dans l'eau, une poudre formée avec des écailles d'huîtres calcinées et du soufre : et il a vu que si l'on se sert d'une plaque de quarz au lieu d'une plaque de verre, la phosphorescence est excitée, sous l'espace que la plaque recouvre, aussi parfaitement que si la lumière électrique tombait directement sur le mélange. Ayant remplacé la lumière électrique par de la lumière provenant de la chaux incandescente, il observa que la lame de verre, loin d'intercepter l'influence photogénique, la transmettait aussi bien que le quarz ou l'air atmosphérique.

Cette différence remarquable dans l'effet du verre, quand la lumière a une origine électrique ou provient de la chaux incandescente, ne tient ni à la moindre durée, ni à la moindre intensité de la lumière émise par la première source. L'arc voltaïque lumineux formé entre les deux pointes des charbons fixés aux pôles de la pile, dont l'intensité est si grande, et dont on peut prolonger indéfiniment l'action, ne parvient jamais à exciter la phosphorescence à travers le verre. Il en est de même de la lumière bleue émise par le platine brûlant au passage d'un courant intense, et de la lumière verte émise par le cuivre dans les mêmes circonstances. La propriété constatée par M. Becquerel serait donc un caractère distinctif de toute lumière provenant d'une source électrique. M. Draper s'est assuré qu'il y a une différence de réfrangibilité très-grande entre les rayons phosphogéniques de la première source et ceux des secondes. Les premiers appartiennent à l'extrémité violette du spectre, tandis que les autres, les rayons phosphogéniques de la chaux incandescente, de la lampe et du soleil, appartiennent à l'autre extrémité du spectre. Ceux-ci sont, en effet, complètement interceptés par une solution bleue de sulfate ammoniacal de cuivre, tandis qu'ils sont pleinement transmis par une solution rouge de sulfo-cyanure de fer et par une solution jaune de bichromate de potasse.

M. Draper a vu aussi, comme M. Moser, que plusieurs images primitivement excitées sur une même surface phosphorescente, et qui avaient ensuite disparu, pouvaient reparaître et s'évanouir successivement à la même place et dans l'ordre où elles avaient été déterminées, par le seul effet d'une élévation de température.

DOUZIÈME MÉMOIRE. — *Remarques sur l'existence et le mécanisme des rayons négatifs ou protecteurs solaires.* — Dans une note adressée

Digitized by Google

à l'Académie le 28 septembre 1845, M. Lerebours rendait compte d'une expérience qui démontrait que les rayons les plus lumineux, le vert, le jaune, l'orangé et le rouge, semblaient retarder l'action des rayons situés à l'autre extrémité du spectre. Dans la séance suivante du 5 octobre, MM. Fizeau et Foucault réclamèrent la priorité de cette observation clairement énoncée par eux dans un paquet cacheté dont le dépôt avait été accepté en décembre 1844. Voici comment M. Foucault rend compte du principal résultat de ses expériences : « Nous avons formé, comme d'habitude, une couche sensible sur une surface d'argent poli par l'action successive de l'iode et du brome, puis nous l'avons exposée librement à la lumière d'une lampe pendant un temps suffisant pour l'altérer au point de la rendre capable de condenser les vapeurs mercurielles en une demi-teinte parfaitement uniforme. Sur cette couche ainsi altérée, mais avant l'exposition au mercure, nous avons fait tomber un spectre bien pur que nous avons laissé agir pendant un temps déterminé. Alors seulement la plaque a été soumise aux vapeurs mercurielles, et, cette opération faite, il nous a été permis d'examiner comment se comportent, dans ces circonstances, les divers rayons simples. En examinant la plaque en reflet, on s'assure aisément que l'endroit frappé par le rouge est devenu incapable de condenser les vapeurs du mercure et que la surface de l'argent est à nu ; de sorte que l'impression première produite par la lampe a été comme détruite ou neutralisée par l'action des radiations qui avoisinent le rouge. En considérant la plaque daguerienne impressionnée à un certain degré par la lumière blanche comme une couche sensible particulière, on voit que l'action du spectre est de deux ordres bien distincts : l'une agit pour accroître l'intensité du fond, l'autre pour la diminuer. L'action des rayons rouges, peut ainsi être appelée négative, par oppotition à celle des autres rayons qui est positive.

Dans la représentation ombrée du spectre, ainsi obtenue par MM. Fizeau et Foucault, les raies noires de la partie rouge se détachent en clairs comme on devait s'y attendre : en effet, les points de la surface métallique où tombent ces raies sont peu ou point affectés par les radiations ; conséquemment, l'effet de l'impression primitive y devait persister. C'est à tort que la raie A est généralement représentée, même dans le dessin donné par Franhofer, comme une ligne fine et

Digitized by Google

simple, MM. Fizeau et Foucault l'on trouvée double et la plus large du spectre après la raie H. Dans la partie située au-delà du rouge, qui est à peu près aussi étendu que lui, et que la vue ne saurait atteindre ; il existe également, sinon des raies, du moins des changements brusques d'intensité, en des points que ces physiciens ont désigné provisoirement par les numéros d'ordre 1, 2, 3, 4, afin d'individualiser ces nouvelles radiations dans différentes expériences, auxquelles ils voulaient les soumettre, en faisant varier 1° le temps ou l'intensité de l'impression primitive, et, 2° l'intensité du spectre, ou, ce qui revient au même, le temps pendant lequel il agissait sur la couche sensible préalablement impressionnée. La première série d'expériences a seulement influé sur l'éclat du fond, sans modifier autrement les résultats. La seconde a fait varier le lieu qu'occupe le maximum d'action négative, et a clairement montré, qu'entre les rayons agissant franchement d'une manière positive, et ceux agissant de la manière inverse, il existe une classe de rayons qui se comportent de l'une ou de l'autre façon, selon leur intensité, ou selon la durée de leur action. Ces rayons, confinés particulièrement dans l'orangé, donnent un résultat négatif quand ils sont faibles ou qu'ils agissent peu de temps ; dans le cas contraire, ils donnent un résultat positif. En un mot, ils se comportent comme si, d'abord, ils devaient détruire l'effet primitivement produit, pour ensuite modifier cette couche à leur manière propre et spéciale.

Ces singuliers phénomènes se manifestent sur toutes les couches que l'on peut former à la surface de l'argent avec l'iode, le chlore et le brome.

M. Édmond Becquerel ne craint pas d'affirmer que ces expériences ne prouvent en aucune manière l'existence réelle dans la radiation solaire de deux actions opposées. Dans ses longues recherches sur l'action chimique des rayons du spectre, il n'a rien observé qui indiquât l'action de rayons négatifs, tout au contraire se réunissait pour lui prouver que toute la partie active du spectre solaire agissait chimiquement de la même manière, sur l'iodure d'argent, du moins. Il affirme que l'on ne peut conclure immédiatement, comme l'ont fait MM. Fizeau et Foucault, qu'il existe dans la partie rouge primitive des rayons négatifs, par cela seul que les apparences des plaques daguerriennes ne sont pas toujours les mêmes : il veut que les effets inverses, soient des

Digitized by Google

effets secondaires, produits par plusieurs réactions chimiques opérées simultanément, et ne sont pas dus à des actions inverses exercées de la part du rayonnement solaire. La portion rouge du spectre, au lieu de posséder une action négative, est essentiellement douée d'une influence continuatrice sur la plupart des sels d'argent isolés ou pris séparément, tels que l'iodure, le bromure, le chlorure. Lorsqu'on emploie simultanément plusieurs de ces sels, les réactions chimiques deviennent très-complexes et multiples, et l'on ne peut apprécier que l'effet résultant. Comme la décomposition que ces sels éprouvent de la part de la lumière consiste dans la formation de sous-sels, l'iode, le chlore, le brome, se trouvent tout à la fois en présence et de l'argent réduits, et des sels primitivement formés sur la plaque : il y a donc complication évidente ; et il est très-essentiel de distinguer les réactions chimiques opérées sous l'influence de la lumière, sur les matières sensibles isolées, et sur les mélanges; c'est, comme M. Becquerel le fait justement observer, ce que n'ont pas assez fait MM. Foucault et Fizeau : autrement, dit-il, ils auraient trouvé que l'iodure d'argent n'éprouve qu'une seule et même action de la part des rayons solaires de réfrangibilités diverses, tandis que le mélange de cette substance, avec d'autres matières, peut donner lieu à des réactions chimiques secondaires qui masquent l'effet principal, et peuvent faire croire à une action négative. C'est un premier principe, que chaque matière sensible, particulière, se comporte différemment par rapport au rayonnement solaire ; ce que l'on peut exprimer en disant, que chaque substance sensible voie le rayonnement à sa manière ; ainsi, par exemple, la teinture de gaïac qui bleuit au sein du violet du spectre, redevient incolore dans le rouge et le jaune.

M. Draper, invoqué par M. E. Becquerel, est entré à son tour dans la lice, en publiant le mémoire que nous allons analyser.

Il affirme d'abord que l'idée d'attribuer aux deux extrémités opposées du spectre des propriétés contraires ne vient point de lui. Wilson, en 1775, dans une note intitulée, *série d'expériences sur les phosphores*, reconnaît que ce sont les rayons les plus réfrangibles qui excitent la phosphorescence du sulfate de chaux, et que les moins réfrangibles la font cesser. Ritter, en 1801, a dit que le chlorure d'argent, noirci par les rayons violets, recouvre en partie sa teinte primitive sous l'action des rayons rouges, que le phosphore enflammé dans

Digitized by Google

les rayons rouges s'éteint immédiatement dans le rayon violet. Dès 1842, M. Draper n'avait aucun doute sur l'existence des rayons négatifs ou protecteurs : et, si M. Edmond Becquerel doute ou nie, ce ne peut être que par suite d'un mal entendu, dont voici l'explication :

Une plaque daguerrienne peut présenter à la surface trois aspects différents : 1° une teinte noire sur les parties non affectées par la lumière : 2° différentes nuances de blanc ; 3° un noir coloré foncé ou parfois olivâtre : on obtient le premier de ces états dans les ombres foncées, là où la lumière n'agit jamais ; le second dont les degrés d'intensités varient avec l'intensité de la lumière provient des parties éclairées du tableau ; le troisième, qu'on peut appeler *solarisé* ou dépassé, est causé par une trop longue exposition à la radiation lumineuse. C'est cet état solarisé que M. Becquerel confondrait avec le premièr ; et de là naîtrait une divergence d'opinions qui est sans fondement. Voici les observations faites par M. Draper.

Si on reçoit un spectre solaire sur une plaque daguerrienne, soumise en même temps à l'action d'un jour faible, les rayons rouge, jaune, orangé, vert, et une partie de rayon bleu, arrêtent l'action de la lumière diffuse, et maintiennent à l'état inaffecté les portions sur lesquelles ils tombent ; le reste du bleu, l'indigo et le violet, amènent, au contraire, à l'état solarisé. Il est donc vrai que les rayons les moins réfrangibles protègent la couche sensible.

Lorsqu'on avait exposé la plaque à la lumière pendant quelques secondes, de manière que si on l'eût ensuite exposée à la vapeur de mercure, elle eût été blanchie également partout ; et qu'après cela, on projetait sur elle le spectre solaire, les rayons les moins réfrangibles la ramenaient à l'état inaffecté, détruisant ainsi l'action qui avait eu lieu. Les rayons les plus réfrangibles, au contraire, produisaient sur la plaque l'état solarisé. Les premiers rayons ne protègent donc pas seulement, ils sont doués d'un véritable antagonisme ; ils exercent une action négative. Le temps pendant lequel durait l'action du spectre, n'exerçait aucune influence sur l'effet produit : si cependant, le phénomène était dû, ainsi que le suppose M. Becquerel, à une action inégale, mais de même nature, le résultat devrait dépendre de la durée de l'action ; le rayonnement, aidé de la lumière du jour, devrait finir par solariser ; or, c'est ce qui n'a pas lieu, même quand la durée de

Digitized by Google

l'action est très-prolongée ; la portion sur laquelle ils tombent, reste éternellement inaffectée.

M. Draper croit avoir trouvé que la même action protectrice réapparaît au-delà du violet ; mais l'effet négatif, à New-York, disparaissait graduellement à partir du mois d'août ; en décembre, il était imperceptible, et reparaissait au mois de mars. Y aurait-il donc des changements périodiques dans la nature de la lumière du soleil, ou bien, les variations observées dépendraient-elles de changements accidentels.

Si l'on ne permet pas à la lumière diffuse de tomber sur la plaque, soit avant, soit après qu'elle a été exposée au spectre, on obtient des résultats tout contraires. Les rayons qui auraient protégé, agissent maintenant sur la plaque, et la blanchissent lentement ; un spectre daguerrien, formé dans l'obscurité et sans exposition préalable au jour, présente une teinte blanche sur toutes les parties exposées aux rayons les moins réfrangibles, et offre un contraste frappant avec celui qui est formé sous l'influence simultanée d'une lumière diffuse douce. Dans le spectre de l'obscurité, il y a dans la tache blanche un point où se trouve le maximum d'action ; il correspond à celui qui présente le maximum de protection dans le spectre du jour : la tache blanche est moins large que l'espace protégé dans le spectre du jour. Des rayons de chaleur lumineuse ou non lumineuse, projetés sur le spectre soit du jour, soit de l'obscurité, pendant la durée de sa formation, ne paraissent exercer aucune influence sur le résultat.

En interposant, entre le prisme et la plaque daguerrienne, une lentille convexe à court foyer, de manière à intercepter, l'un après l'autre, chacun des rayons colorés ; M. Draper projeta sur la plaque, tandis que le spectre s'y imprimait, de la lumière successivement rouge, orangée, jaune ; les rayons rouges accroissent l'étendue de la portion solarisée ; les rayons jaunes la diminuent ; les rayons indigos intervertissaient entièrement l'action des rayons moins réfrangibles, ils solarisaient la plaque. Lorsque des rayons différents agissent l'un sur l'autre, le résultat ne dépend pas seulement de leurs différences intrinsèques, mais aussi de leurs intensités relatives.

Voilà les faits : M. Draper en cherche l'explication, et croit pouvoir tout ramener au principe grand et fécond de l'interférence ; mais la théorie des interférences, que formule ici M. Draper, n'est

Digitized by Google

nullement la théorie connue, et nous avouons franchement ne rien comprendre à ces aperçus singuliers. Pour M. Draper, l'action des rayons de tout genre est essentiellement positive, et consisterait principalement à imprimer un mouvement vibratoire aux atômes de la substance décomposée; mais, le rayon jaune, dont la longueur d'ondulation est 1 ½ interférerait avec le rayon violet dont le rayon est 1, et le résultat de cette interférence serait la neutralisation de l'effet produit, ou la protection. Au contraire, le rayon violet 1 s'unirait dans une action commune au rayon rouge, dont la longueur d'ondulation est 2, et il y aurait accroissement d'effet. Que peut donc être en elle même cette interférence résultant d'une inégalité entre les longueurs d'ondulations ? M. Draper se comprend-il bien lui-même? Dans les phénomènes des interférences, tels qu'on la conçu jusqu'ici, la condition essentielle était que les rayons fussent identiques, qu'ils partissent d'une origine commune et présentassent la même longueur d'ondulation avec des différences de marche. Il y a un étrange abus de mots dans l'énoncé si vague de l'opinion extraordinaire de M. Draper.

Cette difficile question des rayons négatifs et positifs a été aussi étudiée par M. Claudet: quand nous avons parlé de ces dernières recherches, à l'occasion de la photographie, nous ne les connaissions que par un court extrait publié dans le *Literary Gazette*; aujourd'hui nous possédons le mémoire entier de M. Claudet, et nous en reproduisons textuellement les passages les plus remarquables.

» Après avoir exposé une plaque à la lumière du jour sous un tulle noir, j'en couvris une moitié, et je soumis l'autre moitié à la radiation d'un verre rouge. Le mercure développa une image du tulle sur la partie qui n'avait été affectée que par la lumière du jour ; et l'autre, qui avait ensuite reçu l'action des rayons rouges, resta tout-à-fait noire : donc le verre rouge avait détruit l'effet photogénique.

» Je fis la même expérience avec des verres orangés et jaunes, et j'obtins des résultats analogues à ceux des verres rouges.

» Ayant ensuite exposé une plaque à la lumière du jour, je la couvris d'un tulle noire, et l'exposai de nouveau sous un verre rouge, j'obtins une image négative. Le verre rouge avait détruit l'effet de la lumière dans les intervalles du tulle, pendant que le tulle lui-même avait empêché l'action du verre rouge. L'image représentait un tulle blanc sur un fond noir.

Digitized by Google

» Ce qui n'a pas été observé avant moi, c'est qu'après la destruction de l'effet photographique par les rayons rouges, orangés et jaunes, la plaque est redevenue sensible, et peut être de nouveau affectée par la lumière. On peut exposer une plaque à la lumière, détruire cet effet, lui rendre ainsi sa sensibilité; puis l'exposer de nouveau à la lumière; détruire ce second effet par les radiations rouges, orangées et jaunes, et ainsi de suite, plusieurs fois, sans changer les propriétés propres à chacun de ces états, de manière que si l'on s'arrête après l'une des expositions quelconques à la lumière, la plaque pourra être affectée par les vapeurs de mercure, tandis que si l'on s'arrête après l'une des expositions à la radiation rouge, orangée et jaune, il n'y aura aucun dépôt de mercure.

» Cette propriété restauratrice des verres rouges, orangés et jaunes, peut être de la plus grande utilité dans les manipulations daguerriennes. Au lieu de préparer les plaques dans l'obscurité, on peut opérer impunément en plein jour; et il ne s'agit, pour assurer à la plaque sa sensibilité, que de la placer pendant quelques minutes sous un verre rouge, avant de la mettre dans la chambre noire.

» Si l'on emploie un verre rouge, il faut au moins une fois plus de temps pour détruire l'effet produit qu'il n'en a fallu à la lumière du jour pour le produire : avec un verre orangé, il ne faut que cinquante fois plus de temps, et dix fois seulement avec un verre jaune.

» En outre de leur action destructive, les radiations rouges, orangées et jaunes, sont douées d'un effet photogénique, c'est-à-dire que, comme la lumière diffuse, ou mieux comme les rayons bleu, indigo, violet, elle peut rendre la plaque propre à fixer les vapeurs de mercure : de sorte que les radiations sont douées de deux actions contraires, l'une destructive de l'effet produit par la lumière photogénique; l'autre, productrice d'une action semblable à celle de cette même lumière.

» Il y a plus, chaque rayon du spectre a son action photogénique propre, et elles sont toutes indépendantes les unes des autres, et d'espèces si différentes que l'une ne peut continuer l'effet commencé par l'autre, soit pour la production, soit pour la destruction de l'effet photogénique. Le rouge détruit l'action photogénique du jaune, le jaune détruit celle du rouge, et tous les deux détruisent l'action pho-

Digitized by Google

togénique de la lumière diffuse : cette dernière elle-même détruit l'effet photogénique des deux autres. »

Ce mémoire a ramené M. Edmond Becquerel sur la brèche. « Les expériences de M. Claudet sont, dit-il, très-curieuses et très-importantes, mais je pense qu'on ne peut nullement adopter les conclusions qu'il en tire touchant le mode d'action des rayons sur les matières sensibles, et supposer dans le spectre solaire trois actions photogéniques différentes, correspondant à trois groupes de rayons qu'on peut ramener aux trois groupes de rayons rouges, jaunes et bleus ; car dans cette complication d'effets auxquels donne lieu l'emploi des lames daguerriennes exposées à diverses vapeurs, il serait prématuré, je crois, à chaque apparence ou effet particulier, de conclure que la portion du spectre où cet effet se produit, agit d'une manière particulière.

» Il est plus essentiel que jamais de distinguer les réactions chimiques opérées sous l'influence du rayonnement sur les matières isolées et sur les mélanges. Une plaque daguerrienne rendue plus impressionnable par son exposition à diverses vapeurs, ne doit être considerée que comme une couche hétérogène pouvant se comporter diversement dans les différentes parties du spectre, suivant qu'elle a déjà été plus ou moins impressionnée, sans qu'il existe dans la radiation des rayons agissant en sens inverse sur les sels d'argent isolés.

» M. Claudet reconnaît lui-même que, dans le cas des papiers photogéniques, il est vrai que les rayons rouges, orangés et jaunes rendent plus sombres les parties préalablement affectées par les rayons photogéniques. Il ajoute qu'il en est de même pour la plaque daguerrienne qui, après avoir été impressionnée faiblement, fonce rapidement au violet sous la radiation d'un verre rouge... C'est précisément la découverte que j'ai faite en 1841... Lorsque l'iodure, le brômure et le chlorure d'argent sont isolés, on remarque deux effets principaux produits sous l'influence du rayonnement solaire... Si les sels n'ont pas été impressionnés primitivement, ils noircissent dans le spectre depuis le bleu jusqu'au-delà du violet ; s'ils ont été impressionés faiblement, non-seulement ils noircissent dans la partie la plus réfrangible du spectre, mais encore depuis le bleu jusqu'au rouge. Ce sont les rayons qui donnent lieu à ce dernier effet que j'a-

Digitized by Google

vais nommés rayons continuateurs, dénomination qu'on a mal interprétée... Je n'attachais aucune importance théorique à cette expression... En réalité, on doit énoncer le fait de la continuation de la manière suivante : Ces substances, impressionnées et modifiées, deviennent sensibles à des portions de la radiation auxquelles elles étaient primitivement insensibles. »

On ne saurait nier que les observations de M. E. Becquerel ne soient fort sages. Nous le félicitons d'avoir reconnu hautement qu'il n'attachait pas un sens absolu à la dénomination de rayons continuateurs; qu'en se servant de cette expression, il n'avait voulu distinguer que des effets relatifs, et non pas des différences intrinsèques et essentielles. Il est très-probable, comme il l'affirme, qu'il en est de même des distinctions qu'on cherche à établir entre les rayons positifs et négatifs. En modifiant convenablement les mélanges dont se compose la couche sensible, on pourrait faire peut-être que les rayons jusque-là positifs devinssent négatifs à leur tour, *et vice versa*. MM. Fizeau et Foucault avaient annoncé comme très-prochaine la publication de leurs longues recherches de trois années sur les effets comparés des radiations empruntées aux diverses portions du spectre; mais ils ont rencontré tant de difficultés, ils se sont vus amenés à tant de résultats contradictoires en apparence, qu'ils ont été forcés d'ajourner à une époque plus éloignée le pénible travail qui doit faire succéder l'ordre à une lamentable confusion.

M. Gaudin est aussi d'un avis tout opposé à celui de M. Claudet : il veut que l'action des rayons rouges, orangés et jaunes, soit réellement une action continuatrice, et non pas une action destructive de l'effet photogénique produit, comme le veut M. Claudet. Les expériences qu'il fit, il y a six ans, confirmèrent pleinement, pour les plaques d'argent, la découverte de M. Becquerel, déjà constatée pour les papiers. Les rayons, transmis par le verre rouge et orangé, continuaient si bien les impressions subies par les plaques d'argent iodurées, qu'on obtenait des épreuves complètes sans mercure, par leur seul effet de continuation. En faisant succéder à l'action du verre jaune celle du mercure, on obtenait aussi des épreuves complètes; et c'est par ce moyen que M. Gaudin a fait les premiers nuages. Avec les plaques iodurées, soumises au chlorure d'iode, on obtenait les mêmes résultats, avec cette différence qu'il faut substituer le verre rouge au

Digitized by Google

verre jaune orangé, car les rayons transmis par celui-ci ne se bornent plus à continuer, mais impressionnent eux-mêmes la couche sensible, ce qu'on prouvait en produisant des épreuves dans un laps de temps modéré, après avoir placé un verre jaune orangé devant l'objectif, et mis la plaque au mercure comme à l'ordinaire. L'action continuatrice des verres rouges n'était pas douteuse ; car, après avoir soumis une plaque faiblement impressionnée par la chambre obscure aux rayons solaires sous un verre rouge armé d'un écran, puis au mercure ; sous l'écran il n'y avait rien, tandis que hors de l'écran les épreuves étaient marquées de la manière la plus énergique, mais sans noirs, à cause de l'action photogénique que les verres rouges possèdent vis-à-vis des couches très-impressionnables. Enfin, avec les plaques iodurées soumises aux composés de brome, l'effet excitateur du verre rouge masquait son effet continuateur. M. Gaudin est donc porté à croire que M. Claudet aura pris pour une absence complète d'impressionnement des noirs de solarisation, et il trouve ses conclusions prématurées. Chose singulière, M. Draper faisait à M. E. Becquerel un reproche analogue : celui-ci serait tombé dans l'erreur, parce qu'il aurait confondu l'état solarisé avec l'état de non impression. Au milieu de ces affirmations et de ces négations contradictoires, il est difficile de savoir à quoi s'en tenir, et nous n'osons pas prononcer en dernier ressort. Les expériences de M. Gaudin sont bien nettes, peut-être la vérité est-elle de son côté. MM. Fizeau et Foucault, qui ont fait et réuni tant de précieuses observations sur le rôle de chacun des rayons du spectre, ne seraient-ils pas en mesure de trancher ce fatal nœud gordien.

Treizième mémoire. — *Recherches sur la production de la lumière par la chaleur. — Mai* 1847. — M. Melloni, qui regarde ce mémoire comme une des meilleures publications scientifiques modernes, en a fait lui-même l'analyse; il a fait plus et mieux, il y a ajouté une exposition succincte des recherches analogues, des observations semblables faites par lui en diverses circonstances : nous remercions l'illustre physicien d'avoir ainsi rendu notre travail plus facile, et nous nous empressons de reproduire sa belle dissertation.

Chacun sait que la chaleur, en s'accumulant dans les corps, finit par les rendre incandescents, c'est-à-dire plus ou moins lumineux dans l'obscurité. La température nécessaire pour produire cet état

Digitized by Google

d'incandescence est-elle constante, ou varie t-elle avec la nature des corps? Quel est son degré dans l'un et l'autre cas? Quelle est la succession des couleurs transmises par une même substance amenée à une température de plus en plus élevée? Quel est enfin le rapport qui, dans les diverses phases de l'incandescence, subsiste entre la température, et la quantité de lumière et de chaleur émanée successivement du corps.

Pour résoudre ces diverses questions, M. Draper a employé un instrument composé d'un fil de platine rendu lumineux par l'action d'un courant électrique. L'extrémité libre du fil était en communication avec une aiguille indiquant sur un arc gradué les diverses dilatations du fil. On calculait les températures en supposant qu'elles sont proportionnelles à la dilatation du platine, et en partant du coefficient de Petit et de Dulong. Dans l'appareil de M. Draper, chaque degré parcouru par l'indicateur correspondait à une élévation de température de 64° c. Le fil était vertical, et maintenu tendu par un petit poids muni d'un appendice en fer qui trempait dans le mercure d'un vase placé au-dessous. Le circuit électrique s'établissait en mettant le mercure et l'extrémité supérieure et fixe du fil de platine en communication avec les deux pôles d'une pile de Grove; modérée par un rhéostat de Wheastone, l'intensité du courant restait constante pendant une heure environ.

On commençait l'expérience avec un courant faible, dont on accroissait l'énergie au moyen du rhéostat : la chaleur alors augmentait graduellement dans le fil, et le rendait enfin visible, dans l'obscurité, au sein de laquelle on opérait. On éclairait alors l'instrument et on notait le degré marqué par l'indicateur; d'une série d'observations faites par diverses personnes, on déduisait, en prenant la moyenne, la température relative au point ou commençait l'incandescence du platine : cette température correspondait à 526°.

A l'aide d'un canon de fusil qu'il remplissait successivement de platine, de cuivre, de charbon, de plomb, d'argile, etc., et qu'il faisait ensuite rougir, M. Draper s'est assuré de ce fait remarquable que le canon et le corps qu'il contenait, quel qu'il fût, devenaient simultanément incandescents, et perdaient simultanément leur incandescence. Quand on opérait sur une matière fusible, sur le plomb, par exemple, elle devenait incandescente quelques moments après la

Digitized by Google

fusion : ce qui prouve que la température constante, à laquelle l'incandescence se manifeste, ne dépend pas de l'état solide du corps, et qu'elle a lieu dans toutes les substances qui se maintiennent liquides sans se réduire en vapeurs jusqu'à 526°. Il faut excepter de cette loi générale la chaux fluatée et la chaux carbonatée qui deviennent lumineuses longtemps auparavant : ces exceptions tiennent évidemment à ce que ces substances sont phosphorescentes, et l'on sait que la phosphorescence commence à une température plus ou moins élevée suivant la qualité de la substance. En considérant la question d'un point de vue général, il faudra excepter aussi les cas où le développement de la lumière provient de combinaisons chimiques.

Ces deux exceptions se manifestent elles-mêmes par la qualité des teintes initiales. Ainsi, la chaux carbonatée émet une lumière blanche, et la chaux fluatée une lumière bleue : le soufre, en s'unissant au cuivre, apparaît jaunâtre, il est bleu en se combinant avec l'oxigène. Séduit par des idées théoriques universellement abandonnées aujourd'hui, M. Biot et quelques autres physiciens ont voulu que la première lumière dégagée par les corps incandescents fut bleue : il est certain, au contraire, que quand l'incandescence provient directement et uniquement de l'élévation de température, elle commence toujours par une lumière rouge.

Pour mieux étudier la nature des couleurs qui se manifestent successivement à mesure que la température s'élève, voici comment M. Draper opérait. Il se procura un prisme très-pur de flint-glass, et le disposa verticalement à une certaine distance du fil de platine remplacé d'abord par un filet de lumière solaire : le spectre, produit par le prisme, était reçu sur une petite lunette d'approche munie de fils micrométriques pour mieux fixer la position des raies obscures ; le fil de platine était ensuite remis à sa place, on le chauffait et l'on analysait avec soin les spectres correspondants aux diverses périodes de l'incandescence. Le premier spectre, bien visible dans la plus complète obscurité, correspond à une température de 654° ; et s'étend entre les lignes B et F du spectre normal. Le second spectre, produit par une température de 718°, commence à peu près à la ligne B du spectre normal, et se termine à la ligne D ; le troisième, dû à une température de 782°, semble commencer un peu plus vers la

Digitized by Google

ligne A ; et dépasse notablement la ligne G ; enfin, le quatrième spectre qui correspond à une température de 1165°, se rapproche beaucoup de la ligne A, et arrive jusqu'à la ligne L. En d'autres termes, le spectre du fil de platine, qui correspond à l'extrémité rouge du spectre prismatique, se montre d'abord très-petit, et muni seulement des couleurs les moins réfrangibles : à mesure que la température augmente, on voit le spectre de l'incandescence s'étendre vers l'extrémité violette, se revêtir des teintes plus réfrangibles, et acquérir enfin toutes les couleurs et toute l'extension du spectre normal, moins les couleurs extrêmes qui échappent à l'œil de l'observateur à cause de leur extrême faiblesse. Pour un œil exercé et sensible, les variations de longueur se seraient évidemment produites du côté des rayons les plus réfrangibles seulement, et tous les spectres auraient commencé à la limite extrême des rayons rouges.

Lorsque l'incandescence devient de plus en plus vive et brillante par le concours de nouvelles quantités de chaleur, il y a augmentation, non-seulement dans l'intensité lumineuse, mais dans le nombre des couleurs élémentaires qui la composent ; il y a addition continuelle de rayons de plus en plus réfrangibles, à mesure que la température du corps incandescent devient plus élevée. Voilà donc établi un rapport intime entre le développement progressif de la lumière et celui de la chaleur ; car M. Melloni a démontré que les radiations, provenant de sources de haute température, contenaient des éléments plus réfrangibles que celles provenant de sources moins chaudes.

Allons plus loin, M. Draper cherche le rapport existant entre les accroissements de lumière et de chaleur. Bouguer a démontré qu'une différence de 1/60 dans la quantité de lumière qui agit sur l'œil est insensible, et qu'ainsi cette fraction constitue la limite des variations perceptibles. Pour comparer les intensités de lumière, M. Draper a employé la méthode de Bouguer, la seule dont on puisse espérer un résultat avantageux. Voici en quoi elle consiste. Si l'on place un cylindre opaque entre le platine rouge ou toute autre source lumineuse, et une feuille de carton blanc disposé à une certaine distance, de manière que la surface de ce carton soit toute éclairée par la lumière du platine, sauf les points ou se projette l'ombre du cylindre ; qu'on ait une lampe munie d'une cheminée métallique dans laquelle est pratiquée une petite ouverture ; qu'on dirige le rayon de

Digitized by Google

lumière qui sort par cette ouverture sur la surface blanche éclairée par le platine incandescent ; et qu'on approche graduellement la lampe jusqu'à ce que l'ombre du cylindre ne soit plus sensible ; qu'on répète l'expérience dans les divers états d'incandescence, en mesurant à chaque fois la distance de la lampe au carton : les rapports des intensités seront en raison inverse des rapports des distances.

Les accroissements de radiations calorifiques ont été déterminés à l'aide du thermo-multiplicateur : on disposait à une certaine distance du fil de platine une pile thermo-électrique, et à chaque phase d'incandescence on observait les déviations de l'indicateur du rhéomètre.

Par cette double série d'expériences délicates, M. Draper a établi nettement que les augmentations de lumière et de chaleur faibles d'abord, deviennent à la fin très-rapides; d'où il résulte que les rayonnements lumineux et calorifiques suivent dans la progression *d'intensité* la même analogie observée d'abord dans la progression de quotité. Ce double parallélisme semble avoir modifié entièrement les opinions émises primitivement par M. Draper sur la nature des diverses radiations lumineuses, calorifiques, chimiques, etc. Le préambule de son mémoire continue à ce sujet le passage suivant : « Les expériences que je vais décrire fournissent des analogies frappantes entre la lumière et la chaleur, et des données importantes relativement à la question de l'identité de ces principes impondérables. On sait que j'ai été précédemment conduit à admettre des distinctions essentielles, non-seulement entre ces principes, mais encore entre d'autres agents impondérables : je puis donc affirmer que lorsque les recherches actuelles furent commencées, je m'attendais à des résultats tout différents de ceux auxquels je suis parvenu.... » M. Draper exprime ailleurs combien cette proportionalité entre les accroissements de lumière et de chaleur l'étonne. « L'œil, dit-il, est insensible aux rayons qui ne sont pas compris entre certaines limites de réfrangibilité : dans mes expériences, il est nécessaire d'élever la température du platine à 526°, avant que l'œil puisse y découvrir quelque apparence de lumière : les mesures obtenues sont nécessairement dépendantes de l'action physiologique de l'organe de la vue, et leur analogie avec celles que fournit le thermomètre devient d'autant plus remarquable, qu'on ne se serait pas attendu d'avance à ce que l'analogie eût pu être aussi complète.

Digitized by Google

Après cette seconde série de recherches, M. Draper aborde la réfutation des expériences, par lesquelles le docteur Brewster a cru pouvoir affirmer que le spectre se compose exclusivement des trois couleurs rouge, jaune et bleue, répandues sur toute sa surface, mais avec des intensités inégales.

Dans le cas où l'on rend le métal incandescent, les effets de lumière sont dûs indubitablement à un mouvement vibratoire des atômes du platine ; et l'on devrait conclure ce semble de l'apparition successive des rayons les plus réfrangibles, que la fréquence des vibrations s'accroît avec la température, en admettant qu'à une couleur donnée correspond toujours une certaine longueur d'ondulation, comme à une longueur donnée d'ondulation correspondrait une seule et même couleur. Mais ce dernier principe est précisément l'objet des dénégations de M. Brewster, qui veut que le rouge, le jaune, le bleu, et par suite la lumière blanche, se trouvent dans toutes les portions du spectre... C'est, remarque M. Draper, ce qui a réellement lieu quand on se sert d'un prisme, dont les faces réfringentes ont une certaine étendue, car il est clair qu'alors le rayon qui rencontre l'arête et celui qui tombe près de la face opposée à cette arête doivent se superposer, mais de telle sorte, que les couleurs du second débordent sur les couleurs du premier : au lieu d'être pur, le spectre résultant est donc nécessairement un mélange de divers rayons. En serait-il encore de même avec un prisme infiniment mince, ou donné par une petite portion parallèle à l'axe? M. Melloni a démontré que les phénomènes relatifs au calorique rayonnant, très-complexes avec le prisme employé comme l'a fait M. Brewster, se simplifient considérablement quand on les réduit à une bande mince ; la même chose doit évidemment se produire dans le cas de la lumière ; et l'illustre physicien italien s'en est assuré par des essais directs et décisifs : nous avons reproduit ce mémoire alors que nous analysions les phénomènes relatifs aux rayons calorifiques. M. Melloni avait donc prouvé, dès 1843, que les couleurs des spectres obtenus par les prismes ordinaires à une distance inférieure à deux mètres, étaient composés d'un mélange sensible de couleurs appartenant aux spectres des diverses bandes élémentaires du prisme ; que le rouge, le violet, et par conséquent toutes les autres teintes des deux éléments extrêmes, étaient d'autant plus rapprochées du centre que l'observation se faisait plus près du

Digitized by Google

prisme : or, dans l'expérience de M. Brewster, le prisme est très-rapproché de l'œil ; le spectre obtenu sera donc très-impur ; et la couleur, qui apparaît dans une zône donnée, où manque par absorption la teinte dominante, n'est point un rayon doué de la même réfrangibilité que la teinte absorbée, mais une couleur composée due aux spectres élémentaires des couches supérieures ou inférieures du prisme. Pour le prouver directement, M. Melloni a répété l'expérience fondamentale de Brewster, qui consiste, comme chacun le sait, à interposer entre l'œil et le spectre produit par l'image réfractée d'un objet lumineux regardé à travers le prisme une lame de verre vivement colorée en bleu par l'oxide de cobalt. Le spectre provenait de la lumière d'une ouverture circulaire de dix millimètres de diamètre, pratiquée dans une lame métallique substituée à une portion du volet de la fenêtre d'une chambre obscure : le prisme était de flint-glass, équilatéral, large de vingt-cinq millimètres, suffisamment pur pour produire les raies distinctement ; il était attaché à son support par une seule extrémité placée à quinze pieds de la fenêtre, et fixé horizontalement dans la position du minimum de déviation : la surface d'incidence était recouverte, sur un tiers environ de son étendue, d'une couche d'encre de chine, au milieu de laquelle on avait enlevé un filet longitudinal qui traversait de l'un à l'autre bord la bande noircie, laissant libre et découverte une raie horizontale un peu plus large qu'un millimètre : la lame de verre bleu ne couvrait que deux tiers du prisme en partant de l'extrémité libre. Les choses étant ainsi disposées, on regarda successivement l'image de l'ouverture par la portion découverte du prisme, et par les deux portions que recouvrait la lame de verre bleue. La première opération donnait le spectre normal ; la seconde, faite d'après la méthode de Brewster, fournit un spectre complexe ; la troisième un spectre provenant d'une petite portion que l'on peut considérer comme l'élément longitudinal, moyen du prisme. Maintenant, en comparant la première image avec la seconde, M. Melloni observa les phénomènes des zônes lumineuses et obscures si bien décrites par Herschel. En comparant ensuite la troisième image avec la seconde, il vit que les zônes lumineuses, appartenant au spectre élémentaire, étaient beaucoup plus nettes, quoique moins intenses, plus étroites, et traversées par des zônes obscures beaucoup plus foncées, plus

Digitized by Google

larges et à contours plus tranchés que celle du spectre provenu du prisme tout entier. Il lui fut aisé de se convaincre que les différences de température entre les zônes lumineuses du second et du troisième spectre correspondaient aux couleurs que M. Brewster suppose douées du même degré de réfrangibilité que les teintes absorbées. Dans le spectre de M. Brewster, par exemple, la couleur orangée normale est remplacée par une zône obscure envahie d'un côté par le rouge, et de l'autre par le jaune, d'où le physicien anglais inférait la présence de ces deux couleurs dans l'orangé. Or, ces envahissements du jaune et du rouge ne subsistaient plus dans le spectre élémentaire, où tout l'espace correspondant à l'orangé se trouvait occupé par une zône obscure ; le rouge et le jaune, qui bordaient cette zône dans le spectre produit par toute la partie centrale du prisme couvert par le verre bleu, étaient donc indépendants de ce spectre, et appartenaient aux spectres des couches élémentaires supérieures et inférieures à la ligne intermédiaire. Pour ne laisser aucune place aux objections, M. Melloni s'est assuré que la plus grande étendue des teintes transmises par le verre bleu ne provient pas d'une vision moins distincte ; et il en conclut, sans hésitation, que le prétendu mode de démonstration accepté par M. Brewster est complètement insuffisant ; que l'existence de teintes diverses dans le même élément transversal du spectre doit être envisagée comme une pure hypothèse, tant qu'on n'aura pas prouvé que les couleurs d'un spectre parfaitement pur changent par l'interposition d'un milieu situé près du prisme, et que ce changement persiste à quelque distance que ce soit ; que chaque nuance provient d'un rayon unique possédant une vitesse de vibrations, et une longueur d'ondulations déterminées ; que la couleur est un signe caractéristique distinctif des éléments divers contenus dans les radiations des corps lumineux, comme le voulait Newton, et que ces éléments sont séparés simplement par l'action du prisme, en vertu de leurs degrés différents de réfrangibilité. Nous avons combattu nous-mêmes très-vivement les idées de M. Brewster, mais en repoussant un mode d'analyse qui a joui d'une grande faveur auprès des physiciens, nous sommes heureux de rappeler avec M. Melloni que M. Brewster est l'auteur d'une infinité de belles et glorieuses découvertes.

Revenons aux recherches de M. Draper : en les résumant, M. Mel-

Digitized by Google

loni termine ainsi : « Les atômes (1) des corps peu échauffés vibrent lentement et produisent des ondulations longues et invisibles dans le fluide éthéré qui les entoure. A mesure que la température s'élève, les vibrations atomiques augmentent généralement d'étendue en restant isochrones ; tandis que quelques-unes augmentent de rapidité : cet accroissement ne devient cependant bien distinct que près du point d'incandescence. Alors une portion des atômes pondérables commence à osciller plus vite que le reste, et produit dans l'éther des ondulations plus courtes, par conséquent plus réfrangibles, et dont quelques-unes deviennent visibles : toutes contribuent à accroître l'énergie et la variété du rayonnement, jusqu'à ce qu'enfin un grand nombre d'éléments de chaleur lumineuse et obscure se trouvent réunis dans l'effluve rayonné par les sources de hautes températures.

» Il existe cependant certains corps constitués dans des conditions d'équilibre atomique telles, qu'elles donnent à leurs atômes une grande facilité de vibration, de telle sorte qu'ils acquièrent, longtemps avant la période d'incandescence, tout ou partie de cette rapidité d'oscillation, à laquelle est due la lumière visible : ces corps forment la classe des substances phosphorescentes.

» Quand une substance se combine chimiquement avec une autre, ses molécules acquièrent tout-à-coup un très-violent mouvement vibratoire, et peuvent prendre ensuite des vibrations plus lentes. C'est ce qui paraît avoir lieu dans les flammes dues à la combustion des corps, lesquelles commencent presque toujours par une lumière bleue ou violette, et deviennent ensuite blanches et jaunâtres.

» Dans le cas ou la lumière et la chaleur se développent par le fait de la seule élévation de température, les ondulations éthérées incapables d'agir sur l'organe de la vue ne se trouvent pas uniquement dans les radiations provenant des corps chauds et obscurs, mais aussi dans celles qui proviennent des sources lumineuses ; les rayons invisibles ne sont point homogènes : ils sont de diverses espèces ; et leurs propriétés spécifiques sont entièrement analogues à celles des couleurs.

(1) Aux expressions molécules, particules, employées à tort par M. Melloni, nous avons constamment substitué le mot ATÔME.

Digitized by Google

« Ce qu'il y a de plus extraordinaire, c'est que l'observation plus attentive d'une série de faits qui semblaient contraires à la théorie de l'identité de la lumière et du calorique les ait transformés en preuves de cette identité. Qui n'aurait cru au premier abord que les radiations calorifiques étaient d'une nature toute différente des radiations lumineuses, en les voyant se transmettre en proportions si variées dans les substances douées de la plus grande transparence, traverser quelques corps fortement colorés comme instantanément et en plus grande abondance que certains milieux parfaitement limpides ; et franchir de part en part dans la seule direction rectiligne une lame de verre complètement opaque ? Et cependant, ces singulières propriétés sont des conséquences nécessaires de la diathermansie et de la thermocrose des corps combinées avec diverses périodes des ondulations éthérées. Or, comment pourrait-on jamais soutenir l'identité de la lumière et de la chaleur, si l'on n'avait prouvé la coloration de l'un et de l'autre agent, ainsi que l'aptitude de tout rayon calorifique obscur à se propager et à se réfracter dans un corps solide. »

Armons-nous encore d'un peu de patience pour analyser quelques mémoires remarquables de M. Hunt, glorieux rival de M. Draper.

Examen des changements chimiques apportés par la lumière solaire à quelques préparations photographiques ; par M. R. Hunt. — Ce mémoire est le premier chapitre d'une longue étude de l'influence de la lumière sur les divers corps organiques et inorganiques. Il s'agit cette fois des sels d'argent, et M. Hunt est arrivé aux conclusions suivante : 1° L'action de la lumière enlève l'oxigène à l'oxide d'argent et le convertit en sous-oxide et en argent métallique : elle ne suffit pas toutefois à le désoxider complètement, sans la présence d'une matière organique. L'argent revivifié, quelque divisé qu'il soit, se combine spontanément et peu à peu avec l'oxigène de l'air ; 2° Le nitrate d'argent n'est modifié par la lumiére solaire, qu'autant qu'il est en contact avec une matière organique : l'action de la lumière tend à isoler l'oxide d'argent, puis à en dégager l'oxigène et à le réduire à l'état métallique : l'acide nitrique semble entrer en combinaison avec la matière organique ; 3° Le chlorure d'argent est plus sensible lorsqu'il renferme du nitrate libre de ce métal : la supériorité de coloration du chlorure d'argent humecté sur le chlorure sec,

Digitized by Google

tient à la décomposition de l'eau et à l'action réductrice de l'hydrogène naissant, qui isole l'argent métallique : l'influence des rayons solaires paraît s'exercer d'abord, en dégageant la moitié du chlore combiné qui est remplacé par de l'oxigène, s'il y a de l'humidité ; si l'action continue, l'autre atôme de chlore est de la même manière éliminé et remplacé : il s'est donc formé de l'oxide d'argent qui plus tard se convertit en argent métallique ; la présence d'une matière organique est également nécessaire.

Dans un autre mémoire lu à l'association britannique, M. Hunt avait établi quelques faits non moins curieux.

Si l'on prépare dans l'obscurité une solution de caméléon minéral, elle n'éprouvera pendant plusieurs heures aucun changement ; mais si on l'expose au soleil, il se fera presque immédiatement un abondant précipité. Du sulfate de fer dissous dans l'eau commune, donne après quelques heures, un précipité de carbonate de fer, lors même que la solution est conservée dans l'obscurité, mais si on la met au soleil, le précipité a lieu instantanément. On peut même, jusqu'à un certain point, estimer, par le poids comparatif des précipités, l'intensité de lumière à laquelle de semblables solutions ont été exposées.

Au contraire, si l'on mêle ensemble dans un vase de terre une solution de bichromate de potasse, et une solution de sulfate de cuivre, et qu'on conserve le mélange dans l'obscurité pendant douze heures, on trouvera la surface du verre recouverte d'une croute épaisse de chromate de cuivre ; mais si les liqueurs sont exposées à la lumière solaire, aucun effet de ce genre ne se produit.

On expose au soleil plusieurs solutions de sels d'argent, et l'on conserve dans l'obscurité des quantités égales de ces mêmes solutions : en ajoutant à ces diverses solutions de petites quantités de sulfate de fer, on trouve que celles qui ont été exposées au soleil donnent immédiatement un précipité, tandis qu'il s'écoule quelque temps avant qu'un semblable phénomène se manifeste dans les solutions tenues à l'ombre. Le bichromate de potasse qui a été exposé aux rayons du soleil donne, avec les sels d'argent, un chromate de ce métal d'une couleur beaucoup plus intense que du bichromate de potasse tenu dans l'obscurité : un effet semblable a été observé avec du prussiate de potasse mis au soleil ; le bleu de prusse qu'il forma dans un sel de

Digitized by Google

fer, fut beaucoup plus beau que celui qui fut produit avec la solution tenue dans l'obscurité.

On mit un tube ouvert fermé par un diaphragme et rempli d'une solution d'iodure de potassium, dans une solution de nitrate d'argent: puis on fit communiquer les deux solutions au moyen d'un fil de platine. Lorsque l'appareil fut tenu dans l'obscurité, il se forma le long du fil de platine une belle cristallisation d'argent métallique : ce qui n'eût pas lieu lorsqu'on mit l'appareil au soleil.

Ces phénomènes sont évidemment de nature à attirer fortement l'attention des chimistes, parce qu'ils paraissent prouver que l'influence des rayons solaires s'exerce bien plus qu'on ne l'avait soupçonnée jusqu'ici dans le domaine des réactions chimiques.

M. Fisher avait observé quelques faits semblables : si l'on précipite par l'alcool une solution de ferro-prussiate de potasse, qu'on recueille et qu'on dissolve rapidement dans l'eau le précipité, la solution exposée à la lumière passera bientôt du jaune au vert, et enfin, le bleu de prusse se déposera : ce même sel, le ferro-cyanure de potassium cristallise dans l'obscurité en grandes lames quadrangulaires ; mais exposé à une vive lumière, il pert graduellement le pouvoir d'affecter cette figure, il devient pulvérulent, et se dépose sous forme de dendrite.

Nous avons enfin achevé la trop longue analyse des travaux qui ont eu pour objet les propriétés chimiques des rayons du spectre : et nous passons à l'étude de la faculté que possèdent ces mêmes rayons d'exciter la phosphorescence. Cette fois nous serons plus courts.

Digitized by Google

RAYONS PHOSPHOROGÉNIQUES DU SPECTRE.

PHOSPHORESCENCE.

On désigne sous le nom de phosphorescence, cette émission spontanée de lumière que l'on observe dans un très-grand nombre de corps soumis préalablement à certaines actions physiques, chimiques, mécaniques, de décomposition organique, etc., etc. ; actions incapables par elles-mêmes de produire l'incandescence ou de faire briller les corps à la manière ordinaire de la lumière qui est la conséquence d'une grande élévation de température.

En même temps que nous exposerons les travaux récents qui ont eu pour objet la phosphorescence, nous analyserons, comme l'a fait M. Becquerel, l'ensemble de nos connaissances sur cette matière encore enveloppée de ténèbres. Commençons d'abord par bien décrire les différents genres de phosphorescence.

Phosphorescence résultant d'une action mécanique, clivuge , frottement, percussion, etc. — Lorsqu'on clive dans l'obscurité une lame de mica, on aperçoit une faible lueur, et les parties séparées manifestent chacune une électricité contraire. L'acide borique fondu dans un creuset se fendille au moment du refroidissement en répandant une faible lueur : certaines variétés de feldspath, le chlorate de potasse, et d'autres substances broyées dans un mortier, deviennent lumineuses : un caillou frotté dans le vide avec un morceau d'acier, deux écailles d'huître frottées rapidement dans le vide, ainsi que le phosphate de chaux, la craie, le gypse, le spath fluor, le diamant, etc. donnent des trainées de lumière pâle et faible, etc. Il en est de même du frottement d'une plume.

Phosphorescence produite dans l'acte de la cristallisation. — Si la cristallisation du fluorure de sodium a lieu dans l'obscurité, il y a scintillation due à la phosphorescence : l'acide arsénieux transparent et vitreux précipité d'une dissolution dans l'acide chlorhydrique cristallise en émettant une forte lumière ; il n'en est pas de même de l'acide arsenieux opaque, mais il paraît que la phospho-

Digitized by Google

rescence a lieu, dans le passage de l'état vitreux à l'état opaque. Les mélanges de sulfate de potasse et de sulfate de soude, de sulfate de soude et de chromate de potasse, donnent de la lumière en cristallisant. Le chlorure de calcium fond à chaud dans son eau de cristallisation, et, transporté dans l'obscurité, laisse apparaître en se refroidissant et se précipitant, de larges étincelles accompagnées de craquement.

Phosphorescence par élévation de température. — Tous les corps phosphorescents par la chaleur manifestent leur propriété, quand on les projette en poudre ou en petits fragments sur un corps plus ou moins chaud. La chaux fluatée est surtout remarquable alors par l'éclat et la vivacité de ses teintes : projetée sur un bain de mercure bouillant, dans un mélange d'eau et d'acide sulfurique, dans l'eau en ébullition, sur une pelle chaude de fer ou de cuivre, elle brille tout-à-coup : certaines variétés sont phosphorescentes à tous les degrés ; une d'elles, la chlorophane, est lumineuse déjà à 20 ou 25 degrés. Les chlorures de sodium et de mercure, l'acide arsénieux, etc., ne luisent qu'à 200°. Presque tous les corps organisés ou non organisés, non conducteurs de l'électricité, deviennent phosphorescents quand ils sont projetés sur l'alliage fusible et fondu de Darcet. En général, quand la phosphorescence se manifeste à une température élevée, elle est de courte durée, et ne se reproduit plus quand on chauffe au-delà. Les verres cependant qui, à une certaine température, ont perdu leur lumière, se ravivent à la chaleur blanche. Certaines substances aussi recouvrent leurs propriétés phosphorescentes quand on les expose à la lumière solaire ou électrique. Il faut remarquer enfin que la lumière, émise sous l'action de la chaleur par les substances combustibles, provient tantôt d'une véritable combustion, tantôt du mouvement moléculaire qui constitue la phosphorescence : quand la lumière continue de se manifester dans le vide, ou au sein d'atmosphères qui ne renferment aucun principe comburant, l'acide carbonique, par exemple, et l'azote, on a le droit de l'attribuer à la phosphorescence.

Il est souvent difficile de discerner l'élément auquel on doit attribuer la faculté phosphorescente d'une substance donnée, le carbonate de chaux limpide et très-pur provenant du spath d'Islande, le spath-fluor blanc, etc., ne donnent pas de lueur sensible, même quand on

Digitized by Google

les projette sur des plaques chauffées au rouge. Il faut probablement pour déterminer la phosphorescence un mélange de substances hétérogènes pouvant amener un changement de composition avec émission de lumière : les expériences de Th. de Saussure et de Dessaignes donnent à cette proposition un certain degré de certitude. L'eau de cristallisation joue aussi un rôle important dans la production du phénomène : l'état de la surface, et la forme du cristal ne sont pas non plus sans influence ; c'est tantôt la substance réduite en poudre qui est phosphorescente, tandis que la masse ne l'est pas, et réciproquement.

Phosphorescence par insolation. — Bon nombre de corps jouissent de la propriété d'émettre de la lumière après une courte exposition à la lumière solaire ou diffuse. Ce genre de phosphorescence peut dépendre soit d'un changement momentané dans l'équilibre des molécules, soit de réactions chimiques produites par la radiation, soit d'un mouvement imprimé aux fluides impondérables contenus dans les espaces intermoléculaires. Les plus énergiques des substances lumineuses par insolation sont les phosphores de Canton et de Baudouin, c'est-à-dire le sulfure de calcium et le nitrate de chaux calciné ; viennent ensuite la chaux fluatée, la chaux carbonatée, diverses pétrifications, les coquilles d'animaux marins, les perles, la chaux phosphatée et arseniatée, etc. Beaucoup de diamants brillent longtemps après quelques secondes d'exposition à la lumière.

Les diverses parties des plantes ne deviennent guère lumineuses qu'après le dessèchement : les étoffes blanches sont plus phosphorescentes que les étoffes écrues.

Dans tous ces corps, la durée et l'intensité de la phosphorence varient indéfiniment : la durée et la vivacité de la lumière ne se trouvent pas toujours réunies.

Les rayons solaires agissent ordinairement plus que la lumière diffuse, et celle-ci est plus efficace par un temps serein que sous un ciel couvert de nuages. Les lumières artificielles même concentrées sont impuissantes ou agissent très-faiblement.

Les corps blancs sont plus lumineux que les corps colorés de même espèce, ceux-ci le sont plus que les bruns et les noirs ; il faut toutefois excepter le diamant et le spath-fluor.

Dès que la phosphorescence est commencée, elle n'est interrom-

Digitized by Google

pue ni par le contact, ni par la friction, ni par la compression. L'action se continue même dans l'eau, toutes les fois que les corps ne sont pas dissous. La chaleur augmente l'intensité et diminue la durée de la phosphorescence; M. Edmond Becquerel a prouvé que l'abaissement de température produit un effet contraire. L'action phosphorescente pénètre dans les corps à une certaine profondeur : le poli nuit à la phosphorescence.

Les corps bons conducteurs de l'électricité ne sont pas phosphorescents par insolation; les corps mauvais conducteurs présentent de grandes différences dans l'intensité des effets produits; les conducteurs médiocres sont très-phosphorescents. Les premiers de ces corps résistent longtemps à la phosphorescence, mais l'émission de lumière est durable : les troisièmes ne brillent que pendant un temps très-court.

Il existe une différence essentielle entre les effets de la chaleur et ceux de la lumière : les corps les plus lumineux par insolation ne brillent pas quand ils sont chauds.

Phosphorescence sous l'influence de la lumière électrique. — Les décharges électriques d'une batterie de plusieurs bocaux communiquent une phosphorescence sensible à un grand nombre de corps non conducteurs de l'électricité, placés à un ou deux centimètres des extrémités des deux conducteurs. La décharge électrique possède en outre la faculté de rendre leurs propriétés phosphorescentes aux substances qui l'ont perdu par la chaleur, ou qui ne la possédaient pas : ainsi, les diamants qui ne sont pas lumineux par eux-mêmes le deviennent souvent après quelques décharges. L'électricité aussi modifie quelquefois considérablement la teinte de la lumière phosphorescente, comme Pearsall l'a prouvé.

Les effets de la lumière sur les substances affectées par le choc électrique sont très-remarquables : si, après avoir électrisé des fluors calcinés, on en place une partie dans un tube de verre que l'on expose ensuite aux rayons solaires, tandis que l'autre portion, enveloppée de papier, est conservée dans l'obscurité; on verra que la première partie a perdu presque toute sa phosphorescence, pendant que la seconde l'a conservée. Ce n'est pas seulement la décharge électrique qui excite la phosphorescence : la lumière électrique seule suffit à produire cet effet; surtout avec l'aide de la chaleur. La lumière produite par l'électricité voltaïque est moins efficace que la

Digitized by Google

lumière électrique ordinaire. Pour mettre en évidence l'action propre de la lumière électrique, il suffit de placer la substance phosphorescente dans un tube fermé hermétiquement et situé à quelques centimètres du conducteur. Seebeck, ayant placé une substance phosphorique dans des tubes formés de verre jaune, rouge et bleu foncé, à 3 centimètres de la boule du conducteur, remarqua qu'à l'instant de la décharge le phosphore du tube bleu émettait de la lumière, tandis que les autres restaient obscurs : certaines substances laissent donc passer la portion de lumière électrique qui produit la phosphorescence et d'autres l'arrêtent : en d'autres termes, la lumière électrique en traversant des diaphragmes de diverses substances est plus ou moins efficace. Ainsi, le verre blanc enlève à la radiation électrique la plus grande partie de son pouvoir phosphorogénique : il en est de même des verres bleus, jaunes, oranges et rouges ; les verres rouges empêchent entièrement la phosphorescence ; cela n'arrive pas avec les verres violets. La même chose a lieu pour toutes les radiations solaires, terrestres, naturelles, artificielles, etc. ; ainsi, la lumière du phosphore brûlant avec éclat dans un flacon de verre n'excite que très-faiblement la phosphorescence, obligée qu'elle est de traverser le verre : mais l'influence des divers écrans est loin d'être la même sur les diverses sortes de radiations. Voici, à ce sujet, une expérience capitale de MM. Biot et Becquerel. Après s'être assurés que des écailles d'huîtres calcinées, qui avaient perdu la phosphorescence produite par une première insolation, la recouvraient sous l'influence de la lumière électrique, ils placèrent une certaine quantité de ce phosphore sous un écran mixte formé d'une lame de verre de $3^{mm}5$ d'épaisseur, et d'une lame de cristal de roche épaisse de $5^{mm}9$: après l'apparition de l'étincelle électrique, la phosphorescence reparut aussitôt vive et brillante sous la plaque de cristal de roche, mais elle fut nulle et insensible sous la plaque de verre : on s'aperçut plus tard que l'excitation opérée dans la portion recouverte par le cristal de roche se propageait graduellement à l'autre portion avant de s'éteindre : sous une lame de cristal de roche ayant plus de quarante et un millimètres d'épaisseur, la phosphorescence apparaissait très-vive ; tandis que la plaque de verre de $3^{mm}5$ arrêtait tout. Une lame de sulfate de chaux, épaisse de près de huit millimètres, se montra presque plus efficace que le cristal de roche : le

Digitized by Google

cristal de roche enfumé est aussi perméable à la radiation phosphorogénique que le cristal le plus transparent; le cristal taillé perpendiculairement à l'axe est plus efficace que celui qui est taillé parallèlement: le papier de gélatine et l'eau laissent aussi passer, quoique dans une proportion moins forte, la portion de la radiation qui excite la phosphorescence. M. Draper a démontré, comme nous l'avons déjà vu, que la lumière, provenant de la chaux incandescente, diffère complètement de la lumière électrique; la plaque de verre, loin d'intercepter alors l'influence photogénique, la transmet aussi intégralement que le quarz.

M. Edmond Becquerel a constaté, 1° que la lumière émise par les substances phosphorescentes ne diminue pas plus rapidement dans le vide que dans l'air; 2° que quand l'étincelle électrique éclate dans l'air, sa lumière est aussi apte que celle du soleil à rendre phosphorescente une substance placée dans le vide; 3° que si l'étincelle électrique éclate dans le vide, sa lumière n'est phosphorogénique qu'à un très-faible degré; 4° que la phosphorescence est moins intense pour les substances placées dans l'air raréfié, que pour celles placées dans l'air à la pression ordinaire.

Lorsqu'on répète une longue série d'expériences sur un même phosphore exposé à l'étincelle électrique, son aptitude à devenir lumineux s'exalte de plus en plus, et si l'on veut n'admettre que des conclusions certaines, il faut nécessairement tenir compte de cette surexcitation due à des influences antérieures.

Des phosphores artificiels. — Le phosphore le plus anciennement connu est la pierre de Bologne ou sulfate de baryte calciné; on le conserve enfermé dans un flacon de verre bouché à l'émeri : après une exposition de dix secondes à la lumière solaire, il répand dans l'obscurité une lumière rouge semblable à celle d'un charbon ardent; l'éclat se continue pendant une heure, et finit par une lueur blanche : le plus grand froid n'enlève pas à ce phosphore ses propriétés lumineuses qui durent plusieurs années et se manifestent dans le vide et sous l'eau.

Le phosphore de Baudouin, nitrate de chaux calcinée, et les coquilles d'huîtres calcinées, doivent aussi être placées au premier rang des substances phosphorescentes.

Le phosphore de canton est le plus remarquable de tous : on le

Digitized by Google

prépare en calcinant à une forte chaleur des coquilles d'huîtres en poudre avec une partie de soufre, comprimant fortement la masse dans un creuset, et portant la température au rouge pendant une heure ; après quoi, on renferme le tout dans un flacon bien bouché. On le prépare encore en calcinant le sulfate de chaux en poudre avec le charbon. Exposé pendant quelques instants à la lumière, cette substance est très-lumineuse dans l'obscurité.

Le phosphore de Homberg est le chlorure de calcium fondu, il émet une lumière d'un vert pâle.

Phosphores naturels ou *phosphorescence spontanée.* — Un grand nombre de substances organiques sont naturellement ou spontanément phosphorescentes, soit par l'effet d'une action lente, soit par la volonté de l'animal vivant.

Dans le règne animal, on peut citer les poissons et les infusoires marins, vivants et morts : de ce nombre sont le hareng, le merlan, le macquereau, la méduse et divers mollusques : pour que la phosphorescence apparaisse, il faut une température de huit à dix degrés, une humidité soutenue, et le contact de l'air : elle n'est que superficielle.

Parmi les insectes, on remarque surtout les fulgores porte-lanternes, et les lampyres ou vers luisants, la scolopendre électrique et le crabe brillant.

Dans le règne végétal, le bois pourri et certaines tourbes sont éminemment phosphorescents.

Hulme a démontré les propositions suivantes : 1° la quantité de lumière fournie par les substances animales à l'état de putréfaction, n'est pas en proportion du progrès de la décomposition comme on le suppose communément ; au contraire, plus la putréfaction avance et moins on observe de lumière, toutes choses égales d'ailleurs ; 2° la lumière dont il s'agit appartient en propre à l'un des principes constituants des substances phosphorescentes, on peut l'isoler par certains procédés, et la conserver ainsi pendant quelque temps, etc. ; 3° diverses réactifs étrangers ont la propriété d'éteindre la phosphorescence; ainsi la matière lumineuse provenant des harengs s'éteignait promptement par le contact des substances suivantes : l'eau pure, l'eau de chaux, l'eau imprégnée d'acide carbonique, les liqueurs fermentées, les alcools, les acides végétaux, les alcalis, etc. ; 4° d'autres

Digitized by Google

substances, au contraire, mêlées à la matière phosphorescente, lui conservent son éclat et brillent avec elle, le sel commun et le miel sont dans ce cas; le degré d'éclat de la masse totale est proportionnel à la quantité relative de matière phosphorescente introduite dans le mélange; on a de cette manière un moyen de dissoudre en quelque sorte la lumière; 5° quand la lumière phosphorescente a été éteinte par l'action de certaines substances, elle n'est pas réellement anéantie, et l'on peut en général lui rendre sa splendeur première par des procédés très-simples; ainsi, vingt-un grammes de sulfate de magnésie dissous dans vingt-quatre grammes d'eau, et mêlés à la matière lumineuse du maquereau, par exemple, l'éteignent complètement; mais en ajoutant à ce mélange six fois son volume d'eau, on la rend parfaitement phosphorescente; une seconde addition de solution saline ferait disparaître la lumière qu'on ramènerait en ajoutant de nouveau de l'eau pure; on peut ainsi obtenir successivement jusqu'à dix extinctions; 6° la lumière phosphorescente est rendue plus vive par le mouvement; 7° la phosphorescence n'est accompagnée d'aucun dégagement de chaleur sensible au thermomètre; 8° le froid, au degré de congélation et au-dessous, détruit la phosphorescence, mais seulement d'une manière passagère, car elle reparaît dans toute sa splendeur au retour d'une température modérée; 9° l'élévation de température, tantôt exalte, tantôt diminue la phosphorescence; présenté au feu par un de ses côtés et transporté dans l'obscurité, un hareng lumineux, se montra obscur du côté chauffé; l'eau bouillante éteint complètement la phosphorescence.

La lumière émise par le lampyre se montre entre sept et huit heures du soir dans les mois chauds; elle est produite par un appareil particulier, et provient directement d'une matière blanchâtre, demi-transparente, qui recouvre les trois derniers anneaux. On ne saurait nier que la volonté de l'animal influe sur le phénomène. Conservé dans une boîte à l'abri de la lumière du jour, le lampyre ne devient pas phosphorescent quand on ouvre la boîte pendant la nuit: sa phosphorescence diminue par le froid et cesse quand la température est au-dessous de 12°. Si on expose l'animal à l'action de la chaleur, il reprend ses facultés lumineuses; si on le chauffe en le plongeant dans de l'eau tiède, la phosphorescence deviendra plus vive; dans l'eau à 45 ou 50°, il meurt répandant un très-vif éclat; il ne luit pas dans

Digitized by Google

le vide, même quand on élève la température ; cette disparition peut être attribué à deux causes, l'état de souffrance du ver, et la raréfraction de l'air : dans l'oxigène il y a émission de lumière plus vive. Les décharges électriques ne raniment pas la phosphorescence quand elle est perdue, il n'en est pas de même de l'électricité voltaïque : l'animal vivant et obscur, placé dans le courant, devient légèrement lumineux : en dirigeant convenablement le courant à travers le corps du ver auquel on a enlevé la tête, on peut le faire briller d'une lumière très-vive.

M. Ehrenberg plaça sur le porte-objet de son microscope quelques-uns des petits animaux, infusoires et annelides, qui, dans certaines contrées, rendent la mer lumineuse ; et il fut fort étonné de voir que la lumière phosphorescente était formée de la réunion d'une multitude de petites étincelles qui partaient de tous les points de leur corps. Ces étincelles se succédaient avec une extrême rapidité ; elles étaient dues à une action spontanée de l'animal, et prenaient plus d'éclat quand on l'irritait.

Par une longue et curieuse série d'expériences sur la phosphorescence du bois pourri, Bockman a constaté les faits suivants : 1° le bois pourri est lumineux dans le gaz oxigène, même à une température basse ; 2° il est phosphorescent dans tous les gaz non respirables, au moins pendant un temps très-court ; dans quelques-uns, l'azote par exemple, la lueur se maintient très-longtemps ; 3° il s'éteint dans l'acide chlorhydrique ; 4° il luit plus faiblement dans l'air rarifié ; 5° il luit encore dans le vide ; 6° il s'éteint dans le gaz oxigène à une température élevée ; 7° pendant sa phosphorescence dans le gaz oxigène, il se produit de l'acide carbonique ; 8° on peut l'éteindre plusieurs fois de suite dans des gaz non respirables, mêlés ou non d'oxigènes, sans pour cela que la propriété du gaz d'entretenir la phosphorescence d'un nouveau morceau soit sensiblement diminuée ; 9° l'humidité exalte la phosphorescence, elle est absolument nécessaire à sa production ; 10° le bois pourri luit sous l'eau, dans l'huile, et dans d'autres liquides ; dans quelques-uns même sa lueur paraît augmenter.

M. Dessaignes croit que tous les bois, de quelque nature qu'ils soient, deviennent phosphorescents, pourvu qu'ils soient pénétrés d'humidité, exposés à une température de 8 à 12°, en contact avec

Digitized by Google

l'air, et dans un état particulier de décomposition. Si l'on enferme du bois luisant dans un vase rempli de mercure, on obtient de l'acide carbonique.

M. Delille a remarqué que quand l'agaric de l'olivier commence à croître, il est phosphorescent pendant plusieurs nuits, même lorsqu'il ne fait plus partie de l'arbre sur lequel il croit habituellement : il commence à luire un peu avant la nuit, et cesse après le soleil levé ; il ne donne jamais de lumière dans le jour, quelque soit l'obscurité dans laquelle on le tient enfermé.

Diverses fleurs, telles que la capucine, le souci, etc., montrent des phénomènes lumineux par scintillation pendant les nuits des beaux jours de l'été.

Phosphorescence de la mer. — Ce phénomène a été observé de temps immémorial, il est quelquefois si éclatant qu'il frappe les imaginations les plus froides. Dans toutes les régions de l'Océan, mais particulièrement sous la zône tropicale, dès la chûte du jour, on voit jaillir du sein des eaux une lueur phosphorique plus ou moins vive, qui est due soit à des matières organiques tenues en suspension dans l'eau et analogues à la mucosité qui suinte des poissons de mer phosphorescents ; soit à une multitude d'animalcules infusoires, annélides, physalies, physsophores, méduses, etc. Cette lueur se montre surtout aux arêtes des vagues, dans les sillons creusés par la proue, et dans les flots qui se brisent sur les récifs, partout enfin ou l'eau de la mer est frappée : quelquefois un bâtiment poussé par un vent violent laisse au loin derrière lui une longue trace lumineuse qui s'éteint lentement.

Pendant une nuit calme, MM. Quoy et Gaimard, au mouillage devant la petite île de Rawak, sous l'équateur, virent près du vaisseau beaucoup de zônes d'une blancheur éclatante et fixes. Les ayant examinées avec soin, ils reconnurent qu'elles étaient produites par des zoophites d'une petitesse extrême et qui renfermaient en eux un principe phosphorescent si subtil et tellement susceptible d'expansion, qu'en nageant avec vitesse et en zig-zags, ils étaient suivis de filets de lumière très-déliés. Deux de ces animalcules placés dans un bocal rempli d'eau le rendirent très-lumineux : leur présence au sein des eaux des mers est donc vraiment la cause la plus active de la phosphorescence. Ces deux naturalistes français constatèrent aussi

Digitized by Google

que la chaleur était une des conditions déterminantes de la faculté phosphorique de ces zoophites.

Phosphorescence des pluies d'orage. — Des observations assez nombreuses et assez bien faites pour ne laisser aucune place au doute, ont prouvé que certaines pluies d'orage sont accompagnées de lueurs phosphorescentes qui apparaissent sur les habits des voyageurs, aux bords de leurs chapeaux, etc. etc. Ce phénomène a probablement pour cause la recomposition lente des deux électricités, et ne serait au fond qu'une lueur électrique analogue à celle qui surprit de Saussure au sommet du Breven : chaque fois qu'il élevait la main, il ressentait autour des doigts une sorte de frémissement ; et plus tard on tira des étincelles d'un bouton d'or fixé à son chapeau : l'orage grondait dans un nuage autour de sa tête.

Des différentes espèces de lumière phosphorique, de ses teintes diverses. — On distingue deux lumières phosphoriques, l'une par émanation, l'autre par scintillation : la première est cette lumière légère, fugitive, plus ou moins colorée qui semble effleurer les corps d'où elle émane : l'autre consiste dans une série d'étincelles qui s'échappent plus ou moins rapidement des corps phosphorescents.

La durée, la couleur et l'intensité de la lumière émise dépendent de la nature des corps, de l'état de leur surface, etc. Certains marbres et le succin donnent une lueur d'un jaune doré ; le spath-fluor et la chaux arséniatée une lumière verdâtre ; diverses autres variétés de spath-fluor, une couleur bleue violette ; le grenat oriental, le sucre de lait, une lumière rouge ; la dolomie, l'arragonite, quelques diamants, une lumière d'un blanc éclatant ; l'harmotome, une couleur jaune verdâtre ; la chlorophane, une couleur verte.

Les couleurs jaune et bleue se montrent souvent dans les carbonates calcaires, le vert très-rarement. Les acides, dans leurs combinaisons, semblent exercer une influence propre sur la couleur : les couleurs dominantes sont, dans les combinaisons de l'acide fluorique, le jaune, le bleu et le vert, et le plus souvent ces deux couleurs ; dans celles de l'acide phosphorique, le vert et le jaune ; dans celles de l'acide sulfurique, le jaune et le bleu ; dans celles de l'acide arsénique, le verdâtre et le bleu, etc. Dans les substances siliceuses, les couleurs les plus communes sont le bleu, le jaune et le vert ; dans les substances argileuses, le jaune et le blanc.

Digitized by Google

La chaux, qui est très-lumineuse par la chaleur, conserve cette propriété dans toutes ses combinaisons; les sulfates calcaires sont moins phosphorescents que les carbonates; les substances siliceuses ne sont pas, à beaucoup près, aussi phosphorescentes que celles à base de chaux. Les composés minéraux les plus phosphorescents sont la topase de Saxe, l'améthyste, le jaspe, l'émeraude, le zircon. Les verres colorés par les oxides métalliques luisent mieux que les verres blancs, etc. etc.

Du spectre phosphorogénique, ou des rayons du spectre propres à déterminer la phosphorescence par insolation. — Les faits nombreux que nous avons déjà cités suffisent à prouver que la portion de la radiation lumineuse qui excite la phosphorescence, est physiquement distincte de celle qui, sur notre rétine, produit la sensation de la vision. Les expériences que nous avons rappelées sur l'action des écrans diaphanes, démontrent rigoureusement qu'une même portion de la radiation totale est ou n'est pas efficace à produire la phosphorescence, selon l'état plus ou moins excitable de la substance qui la reçoit et la nature de l'écran.

Les rayons solaires, ainsi que la lumière électrique, excitant la phosphorescence, il est très-important de rechercher dans quelles parties du spectre sont situés les rayons actifs ou phosphorogéniques qui doivent occuper, comme les rayons chimiques, une place à part. Wilson, en 1775, dans le mémoire intitulé *Série d'expériences sur les phosphores*, reconnaît que les rayons les plus réfrangibles excitent la phosphorescence du sulfate de chaux; et que les rayons les moins réfrangibles la font cesser. Beccaria, vers la même époque, disait aussi que, de tous les rayons du spectre, le rayon violet était le plus apte, et le rayon rouge le moins apte à exciter la phosphorescence; mais cette importante question appelait de nouvelles études; M. Edmond Becquerel s'en est occupé avec ardeur et succès, il a opéré sur les deux substances les plus lumineuses par insolation, les phosphores de Bologne et de Canton, ou les sulfures de barium et de calcium. On réduit en poudre un de ces sulfures, puis, après avoir mis une couche de gomme arabique sur une feuille de papier tendue dans un cadre de bois, on la saupoudre avec la poussière de sulfure; on a ainsi une surface phosphorescente dans toutes ses parties. Le papier, ainsi préparé, est placé au foyer d'une lentille donnant par

Digitized by Google

projection le spectre solaire. Si l'on tient les yeux fermés pendant que le spectre agit sur le phosphore, et que, fermant ensuite l'ouverture par laquelle passent les rayons solaires, on regarde le papier, on aperçoit deux bandes lumineuses séparées par un intervalle peu éclairé. La partie du spectre qui donne la phosphorescence au sulfure de calcium s'étend depuis la raie G de Fraunhofer jusqu'au-delà de l'extrémité violette : il y a deux maximum d'action, l'un entre les raies G et H, mais plus près de H, l'autre dans la partie invisible, au-delà du violet : il y a ainsi, pour ainsi dire, deux spectres phosphorogéniques. En laissant continuer l'action pendant quelque temps, un quart-d'heure, par exemple, la lumière diffuse qui accompagne le spectre impressionne presque partout le reste de la préparation ; et en refermant l'ouverture du volet, on voit toute la surface à peu près lumineuse, avec deux bandes d'un éclat plus vif : un seul espace est complètement obscur, celui compris entre les raies G et A ; ce qui semble indiquer, dans cette partie du spectre, des rayons agissant en sens inverse des rayons phosphorogéniques, c'est-à-dire, détruisant la phosphorescence. Voici comment on met en évidence l'existence de ces rayons. Avant d'exposer la surface phosphorescente à l'action du spectre, on la soumet pendant quelques secondes à l'action des rayons solaires ou de la lumière diffuse : cette surface devient alors lumineuse ; mais si on projette dessus le spectre pendant quelques minutes, et qu'on regarde de nouveau, on voit qu'elle est demeurée lumineuse, excepté sur la bande comprise entre G et A, laquelle reste obscure alors même qu'en élévant la température du papier on exalte la lueur phosphorique. Les rayons qui détruisent ainsi la phosphorescence sont précisément ceux que les verres rouges laissent passer. Sur le papier préparé avec le sulfate de baryte, il n'y a qu'un seul maximum, qu'un seul spectre phosphorogénique, compris entre d'autres limites que le spectre correspondant au sulfure de calcium ; il y a aussi un espace obscur indiquant un groupe de rayons négatifs, les mêmes pour les deux phosphores.

Le spectre phosphorogénique doit avoir ses raies comme le spectre solaire. Pour les apercevoir, il faut agrandir ce spectre à l'aide d'une grande lentille, au lieu de le recevoir immédiatement par projection sur la surface phosphorescente : on place donc sur sa route une lentille de 1 décimètre de foyer, afin que le foyer de cette grande len-

Digitized by Google

tille tombe entre le foyer et la surface de la seconde ; alors, de l'autre côté de celle-ci on a un spectre agrandi. En promenant la seconde lentille dans toutes les parties du spectre primitif, puis cherchant avec un carton blanc le lieu où il tombe, on y voit les raies larges et distinctes ; puis, en le recevant sur la surface enduite de phosphore, que l'on regarde ensuite dans l'obscurité, on s'assure de la vérité de ce fait, que les raies du spectre phosphorogénique coïncident rigoureusement avec les raies du spectre visible. Pour mieux apercevoir les premières de ces raies, on chauffe le papier phosphorescent jusqu'à 2 ou 300°; les parties qui ont reçu l'impression des rayons phosphorogéniques deviennent lumineuses, tandis que les portions correspondantes aux raies restent totalement noires. Nous avons déjà vu que les raies du spectre chimique coïncidaient aussi avec celles du spectre visible : cette triple coïncidence est un puissant argument en faveur de l'identité des radiations calorifiques, lumineuses, chimiques, phosphorogéniques, etc. : nous le développerons plus tard.

Les expériences que nous venons de rappeler démontrent cette proposition qui a tout l'air d'un paradoxe, et qui ne peut, en effet, s'expliquer dans le système de l'émission : avec les rayons obscurs situés au-delà des rayons visibles, on produit de la lumière, on éclaire une surface phosphorescente; tandis qu'avec des rayons lumineux, rouges, jaunes, orangés, verts, non-seulement on n'illumine point cette même surface, mais de plus on éteint sa lumière excitée par d'autres causes.

M. Edmond Becquerel a ajouté tout récemment à ses premières et bonnes recherches sur la phosphorescence, des observations nouvelles et très-importantes ; il les a consignées dans nne note qu'il résume ainsi lui-même :

« 1° Le sulfure de calcium phosphorescent, ou, pour mieux dire, le phosphore de Canton préparé de diverses manières, de façon à luire avec des teintes différentes, devient lumineux entre des limites différentes du spectre solaire. On remarque, en général, deux maximum d'action, dont l'un, le plus éloigné du violet, conserve sensiblement la même position dans les diverses préparations. Cet effet est-il dû à un mélange de substances ou à des conditions physiques différentes de la même matière : c'est ce que nous n'avons pas encore pu décider.

Digitized by Google

» 2° Il se manifeste deux actions bien distinctes de la part du rayonnement solaire sur les substances phosphorescentes en général et sur le sulfure de calcium en particulier : 1° phosphorescence produite, ou modification telle, que la matière devienne lumineuse après une exposition préalable dans certaines parties du spectre ; cet effet a lieu en général au-delà du violet ; 2° destruction de la phosphorescence ou action telle, que la modification produite par les premiers rayons, est détruite complètement ; cet effet se manifeste depuis le violet jusqu'au rouge. Mais ce qu'il faut observer, c'est que cette destruction ne s'opère pas en rendant immédiatement obscur le sulfure exposé préalablement aux rayons les moins réfrangibles ; le sulfure brille encore pendant quelque temps, puis, lorsqu'il a émis toute la lumière qu'il peut émettre, c'est-à-dire, celle qu'il aurait manifestée si on l'avait chauffé jusqu'au rouge, il n'est plus lumineux ; si ensuite on élève sa température, il reste obscur, et ne peut émettre de nouveau la lumière que par une exposition nouvelle aux rayons les plus réfrangibles.

» Ainsi, lorsqu'on expose une substance phosphorescente par insolation à l'action des rayons les plus réfrangibles, rentrée dans l'obscurité, cette substance devient lumineuse, et peu de temps après cesse de luire ; mais la modification qu'elle a reçue du rayonnement n'est pas détruite pour cela, et une élévation de température la rend de nouveau lumineuse : la lumière qu'elle émet ainsi est de courte durée ; peu d'instants après, elle est redevenue obscure, et pour que la chaleur donne lieu à une nouvelle émission de lumière, il est nécessaire que cette substance soit de nouveau exposée au rayonnement solaire. Mais le fait capital que nous avons voulu mettre en évidence dans cette note, est le suivant :

» Lorsque la substance phosphorescente a été modifiée par les rayons les plus réfrangibles, de telle sorte que, de non lumineuse qu'elle était à la température ambiante, elle le devienne dans l'obscurité, par l'action de la chaleur ; alors les rayons les moins réfrangibles, quoiqu'ils n'échauffent pas cette substance, agissent de la même manière que la chaleur, c'est-à-dire qu'ils donnent lieu à une émission de lumière, après quoi la substance phosphorescente redevient obscure. »

Avant M. E. Becquerel, M. Daguerre avait, de son côté, fait une

Digitized by Google

remarque fort curieuse. On sait qu'il a réussi à préparer un phosphore extrêmement sensible et remarquable, en calcinant le sulfate de baryte une ou plusieurs fois dans la partie creuse d'un os dont on a enlevé la moëlle. Par une calcination trois fois répétée, le sulfate de baryte acquiert une telle faculté lumineuse qu'il pourrait éclairer une grande pièce: il conserve longtemps ses propriétés phosphorescentes; il est encore visible quarante-huit heures après son exposition à la lumière; au bout de trois ans, on l'a vu encore capable de phosphorescence.

Un jour, M. Daguerre avait exposé quelques instants à la lumière solaire une assiette remplie de cette poudre phosphorescente, sur laquelle reposait un petit disque de verre bleu, et la portion de poudre que le disque recouvrait brillait notablement plus que celle frappée directement par la lumière, sans l'intermédiaire d'un écran quelconque. En communiquant cette expérience à l'Académie des sciences, M. Arago disait : « Il serait important de la répéter en plaçant le verre bleu, non plus en contact avec la poudre, mais à une certaine distance ; il serait bon aussi, pour éviter toute action calorifique, d'opérer avec la lumière diffuse atmosphérique : si, avec ces nouvelles conditions, le résultat restait le même, il en faudrait conclure que parmi les divers rayons composant la lumière solaire blanche, il en est, et dans ce nombre il faut ranger plusieurs de ceux qu'arrêtait le verre bleu en question, qui, non-seulement n'excitent pas la phosphorescence, quand ils sont mêlés aux autres rayons, mais qui même sont un obstacle à son développement. » M. Biot analysa le verre bleu de M. Daguerre, et trouva que sa teinte devait probablement contenir tous les éléments de la lumière blanche, privés de 1/3 du rouge, de tout l'orangé, et de 1/5 du jaune : en calculant d'après ces données la teinte transmise, il la trouva formée de vingt-neuf parties de bleu pur, pris dans la lumière du spectre, avec soixante-onze parties de blanc. Les rayons négatifs auraient donc été dans la conjecture de M. Arago une partie du rouge et l'orangé.

Cette même poudre de sulfate de baryte donna lieu à un autre phénomène dû sans doute à l'influence de la chaleur sur la phosphorescence. M. Daguerre, transportant un jour dans sa main étendue, et dans l'obscurité, l'assiette couverte de poudre, aperçut ses doigts comme s'ils émettaient de la lumière, et comme si l'assiette et la

Digitized by Google

poudre étaient devenues transparentes. La lumière qui dessinait ses doigts et qui semblait en sortir, surpassait en intensité celle dont la poudre brilla quand l'assiette fut déposée sur le poêle.

Des causes de la phosphorescence. — On a cru longtemps que la phosphorescence était un simple phénomène d'imbibition et d'exhalation : suivant cette théorie aujourd'hui inadmissible, les diverses substances phosphorescentes exposées à la radiation lumineuse, absorberaient réellement la lumière qui tomberait sur elle, s'en imbiberaient en quelque sorte, puis l'exhaleraient dans l'obscurité; de là, le nom de la *lichtsauger*, suceurs de lumière, que les physiciens allemands leur donnèrent. Une prétendue expérience de Beccaria n'avait pas peu contribué à mettre en vogue cette théorie erronée. Ce célèbre physicien affirmait qu'après avoir soumis successivement le phosphore de Bologne à la radiation transmise par les verres rouge, orangé, jaune, bleu, vert, violet, il l'avait vu dans l'obscurité briller d'une lumière tour à tour rouge, orangée, jaune, etc. Le doute alors semblait très-difficile, et en présence d'un fait si éclatant, on devait naturellement affirmer que la phosphorescence avait essentiellement pour cause l'imbibition préalable d'une certaine quantité de lumière, et son exhalation subséquente, plus ou moins accélérée par diverses causes physiques, telles que l'élévation de température, etc. Mais l'exrience de Beccaria n'était qu'une illusion produite probablement par l'influence trompeuse d'idées préconçues : en la répétant, Wilson, Zanotti, Algerotti, Dufay, de Grosser et beaucoup d'autres physiciens démontrèrent jusqu'à l'évidence que la lumière émise dans l'acte de la phosphorescence n'avait en aucune manière la couleur des rayons qui avaient frappé la substance soumise à leur action; que chaque phosphore, au contraire, quelque fût la radiation qui l'avait allumé suivant l'expression de Wilson, brillait d'une lumière propre, d'une couleur toujours essentiellement la même, dans des circonstances identiques d'état physique et de température; et sans aucun rapport de teinte avec la source lumineuse qui avait excité la phosphorescence. Il fallut donc rejeter à jamais la théorie de l'imbibition, et par contre coup la théorie de l'émission ou de la nature matérielle de la lumière, cause fatale de la brillante erreur de Beccaria.

On avait alors fait un grand pas; il était prouvé que la source lumineuse extérieure était bien la cause déterminante de la phospho-

Digitized by Google

rescence; mais, pour nous servir d'une expression consacrée, qu'elle n'était pas la cause formelle du phénomène produit : en ce sens, que la nouvelle lumière avait sa source dans une radiation propre de la substance phosphorescente; radiation dont il faut maintenant déterminer la nature ou la raison efficiente et dernière.

Pour procéder avec ordre et clarté, distinguons d'abord deux grandes classes de phosphorescence : celle qui est accompagnée d'une action chimique certaine, et celle qui se produit sans action chimique. Bayle, et après lui Hulme, Macaire, etc., ont remarqué, comme nous l'avons vu, que la phosphorescence des substances organiques, placées sous le récipient de la machine pneumatique, diminuait à mesure que l'air était raréfié, et s'éteignait dans le vide ; et ils en concluaient, avec raison, que l'air était en partie cause du phénomène. Dessaignes démontra en outre, par des expériences décisives, que dans l'acte de la phosphorescence des corps organiques, il y a production d'acide carbonique et d'eau ; et que ces corps ne peuvent devenir lumineux que dans les milieux ou la formation de ces produits est possible. D'ailleurs, comme l'action chimique est ordinairement et naturellement accompagnée de lumière plus ou moins intense, elle suffit par elle seule à expliquer la phosphorescence qui coexiste avec elle.

Mais il est un autre genre de phosphorescence non moins étendu, qui n'est certainement accompagné d'aucune action chimique ; la phosphorescence des substances minérales, par exemple, dans l'acte du clivage, de la cristallisation, de la dissolution, de l'élévation de température, de l'insolation etc.. Quel est dans ce cas la cause efficiente de la lumière phosphorescente? Exagérant les effets produits par l'eau de cristallisation, et généralisant par trop les conséquences de quelques faits particuliers, Dessaignes assigna d'abord la présence de l'eau comme source principale des phosphorescences passagères qui ne résultent pas d'une combustion ou combinaison chimique. Dans cette singulière direction d'idées, il arriva même à affirmer qu'une certaine humidité était la cause essentielle de l'illumination des phosphores, sans excepter le phosphore de Canton ; tandis qu'il est manifeste que cette substance récemment préparée et versée encore rouge dans une fiole transparente et sèche, qu'on en remplit entièrement et qu'on ferme ensuite hermétiquement, répand une lumière

Digitized by Google

très-vive, après une courte exposition aux rayons du soleil : plus on la maintient sèche, mieux elle conserve ses propriétés lumineuses ; et si l'haleine peut la rendre phosphorescente, ce n'est que par le dégagement de chaleur qu'elle occasionne. Pour être juste il faut reconnaître que dans la série de ses beaux mémoires, Dessaignes modifie lui-même cette singulière opinion et qu'il proclame le premier, comme nous le verrons tout à l'heure, que l'électricité est la grande cause de la lumière phosphorescente. Rentrant maintenant dans les limites du vrai, nous reconnaîtrons que toute action physique qui, comme l'absorption rapide de l'eau de cristallisation enlevée d'abord par la calcination, comme la cristallisation, la dissolution, etc., amènent une modification intrinsèque dans les molécules des corps, y produisent un mouvement intime, les font passer d'un état à un autre état isomére, sans altérer leur composition chimique, peuvent et doivent évidemment être en général accompagnées d'un dégagement de lumière plus ou moins intense, et devenir, par conséquent, la cause efficace de la phosphorescence ; rien n'empêche non plus que l'imbibition de l'eau de cristallisation ne devienne sous le nom d'hydratation une action chimique, et que la phosphorescence qui en est la suite ne passe au premier ordre de phénomènes que nous avons d'abord étudiés.

Supposons, maintenant, qu'il s'agisse de la plus simple et la plus commune des phosphorescences, celle des substances minérales calcinées, devenues lumineuses par élévation de température et par insolation.

Dessaignes, le premier, s'est efforcé de prouver que l'électricité jouait un grand rôle dans la production de ce phénomnne ; voici ses arguments : 1° parmi les métaux réduits en poussière, les plus phosphorescents sont les métaux les plus électriques par la chaleur, le bismuth et l'antimoine ; 2° en général, les substances très-conductrices de l'électricité sont peu phosphorescentes : les corps non conducteurs s'illuminent difficilement ; on trouve, au contraire, la plénitude de la phosphorescence chez les substances demi-isolantes, demi-conductrices ; 3° l'étincelle électrique et même le simple passage de l'électricité sans émission de lumière, communique la phosphorescence à un très-grand nombre de substances qui ne l'avaient pas manifestée jusque-là ; et rendent la faculté de luire aux corps qui l'ont perdu

Digitized by Google

au point même de ne plus émettre de lumière sous l'influence d'une température élevée. La phosphorescence exige donc, pour se manifester, des conditions en rapport avec l'électricité ; elle est devenue possible après l'action de l'électricité ; elle est restaurée sous l'influence de l'électricité, etc., etc. ; ne doit-on pas affirmer dès lors, qu'elle a pour cause réelle l'électricité.

Voici comment, cinquante ans après Dessaignes, M. Becquerel expose la même doctrine sans un petit mot de louange pour son glorieux prédécesseur : « Nous savons maintenant que l'équilibre des deux électricités est troublé dans les corps toutes les fois que leurs parties constituantes éprouvent un changement quelconque, soit dans leur position naturelle d'équilibre, soit dans leur combinaison : or, ce sont là précisément aussi les causes qui produisent la phosphorescence.

» Nous savons que toutes les causes qui troublent l'équilibre des deux fluides dans les corps, ne rendent libre une portion de chacun d'eux, qu'autant qu'on sépare les parties constituantes ou bien que l'on met obstacle à leur recomposition ; dans l'un et l'autre cas il peut y avoir émission de lumière si les corps ne sont pas bons conducteurs : on dit alors qu'il y a phosphorescence. Par exemple, lorsqu'on clive une substance minérale régulièrement cristallisée, comme le mica, le talc, etc., chaque partie emporte avec elle un excès d'électricité contraire, et l'on aperçoit en même temps une lueur phosphorique.

» Ces effets nous donnent une idée de ce qui se passe quand on élève la température des corps mauvais conducteurs. La chaleur, en écartant les particules, produit un clivage général qui n'est accompagné que de lumière, parce que les particules n'étant pas séparées, il y a recomposition plus ou moins immédiate des deux électricités devenues libres. D'un autre côté, le frottement, en ébranlant les particules, rend libre une portion de l'électricité interposée, tandis que l'autre, en réagissant sur les corps environnants, donne naissance à des effets lumineux. »

Nous ne voyons pas ce que ces développements ajoutent aux assertions de Dessaignes : ce sont encore des énoncés vagues, incertains, et il n'est nullement démontré par là que la cause et la source propre de la phosphorescence soit l'électricité. Pour avoir le droit de proclamer cette dépendance intime, il faudrait s'assurer directement que

Digitized by Google

la lumière phosphorique est réellement identique avec la lumière électrique. Fraunhofer et Wheastone ont précisé nettement les différences qui existent entre la lumière solaire et la lumière électrique; ils ont décrit avec le plus grand soin les raies caractéristiques brillantes ou obscures qui sillonnent le spectre obtenu de cette dernière lumière, alors même qu'elle est modifiée par l'influence de divers corps, du mercure, du zinc, du cadmium, du bismuth, du plomb liquide, etc.; il s'agirait donc de savoir si ces raies caractéristiques se retrouvent dans la lumière phosphorescente ; malheureusement cette comparaison est entourée de grandes difficultés, soit parce que la lumière phosphorique est très-faible, soit parce que le nombre, la position, et la couleur des raies varient à l'infini avec la nature des corps d'où s'échappe l'étincelle électrique. On peut du moins signaler une autre analogie entre la lumière phosphorique et la lumière électrique : l'électricité acquiert une tension plus grande sur les parties plus aiguës des corps, elle s'échappe par les pointes : or, les aspérités et les crêtes des corps sont aussi plus phosphorescentes que le reste de la masse.

De ce que l'électricité engendre et restaure la phosphorescence, doit-on conclure, comme M. Becquerel semble le faire, que les phénomènes de la phosphorescence sont des phénomènes essentiellement électriques ; de telle sorte que sans électricité il n'y aurait pas de phosphorescence? Nous ne le pensons pas ; tous les corps contiennent entre leurs atômes une certaine quantité d'éther ou du fluide qui, par ses vibrations, donne naissance à la lumière ; et il n'est nullement impossible que certains de ces corps soient constitués dans des conditions d'équilibre atomique telles, qu'elles donnent aux atômes lumineux une grande facilité de vibration ; ces corps, dès lors, par une simple exposition à la lumière, par une simple élévation de température, deviendraient lumineux; ce seraient précisément les substances phosphorescentes. Ce simple aperçu suffit à faire concevoir la phosphorescence sans l'intervention de l'électricité. On comprend aussi que l'intensité du mouvement vibratoire qui fait naître la lumière phosphorique dépende de la nature de la radiation qui l'a excité; une radiation trop puissante, l'action de la lumière solaire directe, par exemple, peut, dans des conditions données, être moins efficace que la radiation plus douce de la lumière diffuse, ainsi que quelques physiciens croient l'avoir observé : rien n'empêche,

Digitized by Google

qu'en raison de sa composition intime, la radiation de l'étincelle électrique fût la plus efficace de toutes les radiations : on comprend encore que la quantité de ce même mouvement vibratoire, en elle même finie et déterminée, soit variable avec la nature de la substance phosphorescente, de sorte qu'après avoir brillé un certain temps, le phosphore s'éteigne ; que si une cause secondaire, l'action de la chaleur, par exemple, ou l'élévation de température vient à intervenir, le mouvement vibratoire soit précipité ; que la quantité de force vive dépensée dans un instant donné étant par cela même plus grande, le mouvement cesse plutôt, que le phosphore brille moins longtemps ; on comprend enfin, que la seule excitation du mouvement vibratoire et surtout l'action intervenante de la chaleur peuvent faire sortir à tout jamais le corps dont il s'agit des conditions dans lesquelles il était primitivement placé, de telle sorte, qu'après avoir brillé une seule fois ou un certain nombre de fois, le corps ne puisse plus devenir phosphorescent, à moins que, par des moyens particuliers, l'action, par exemple, de l'étincelle et de la décharge électrique, on ne le fasse revenir à son premier état.

Nous pourrions pousser cette discussion plus loin, et démontrer qu'il n'est pas une seule des circonstances de la phosphorescence qui ne trouve son explication facile dans ce principe si simple, d'une aptitude spéciale à vibrer sous l'influence de telle ou telle radiation plus sympathique. N'est-il pas d'ailleurs évident *à priori*, que l'on doit retrouver dans les phénomènes de communication du mouvement lumineux, les circonstances fondamentales qui accompagnent la communication des mouvements sonores, puisque de part et d'autre il y a vibrations ; or, sous nos yeux, les corps de la nature se partagent en deux grandes classes. Le plus grand nombre sous l'influence d'un mouvement sonore vibre infiniment peu ; quelques-uns vibrent avec une facilité telle, qu'ils résonnent sous l'impression du moindre son, pourvu, toutefois, que ce premier son soit dans un rapport simple avec celui que les corps dont nous parlons, doivent rendre à leur tour ; il y a plus, comme il n'est pas un corps qui ne soit ébranlé quelque peu par un premier bruit, de même, il n'est presque aucune substance qui ne doive être phosphorescente au moins dans un degré infiniment petit : et c'est en effet la conclusion à laquelle fu-

Digitized by Google

rent conduits Beccaria, Wilson, Dessaignes, par leurs innombrables expériences.

En résumé, nous ne nions pas l'influence de l'electricité, nous reconnaissons que certains genres de phosphorescences sont de nature électrique ; mais nous regardons comme erronnée, ou du moins comme énoncée sans preuves, l'opinion de M. Becquerel, qui ne conçoit pas de phosphorescence sans l'intervention de l'électricité, parce qu'il nous semble très-naturel et très-rationnel d'admettre qu'un premier mouvement vibratoire lumineux se communique de lui-même, sans aucun intermédiaire, aux molécules d'éther renfermées dans les espaces intermoléculaires d'une substance placée dans des conditions de plus grande aptitude à la résonnance lumineuse : en un mot, nous étendons à la phosphorescence ce que nous avons dit ailleurs des couleurs.

Pour ne rien laisser à désirer, nous allons mettre sous les yeux de nos lecteurs une analyse critique des travaux qui ont eu la phosphorescence pour objet, ce sera l'histoire rapide de cette branche intéressante des sciences physiques.

Dufay, Beccaria, Wilson accumulèrent surtout les observations, et étendirent indéfiniment le nombre des substances phosphorescentes : Beccaria, ainsi que nous l'avons dit, prétendait que le phosphore de Canton brillait de la lumière dont on l'avait éclairé, en reproduisant la même nuance : Wilson démontra invinciblement que Beccaria s'était trompé : il étudia avec le plus grand soin les teintes de la lumière des divers substances phosphorescentes sans arriver à établir autre chose que ce fait, qui du reste est capital, qu'il n'y a aucune liaison nécessaire entre les teintes des lumières excitantes et excitées.

De Grosser, physicien viennois, étudia surtout la phosphorescence des diamants : il compara d'abord les effets produits par les lumières de diverses teintes : exposé aux rayons rouges, le diamant ne rendait qu'une lumière faible de couleur mélangée de vert et de bleu : exposé au rayon bleu, il émit une lumière plus vive et plus abondante, mêlée de jaune et de rouge, etc. Il alla plus loin : il condensa tour à tour, au foyer d'une lentille, les rayons rouges et les rayons bleus ; quand les deux radiations tombèrent ainsi séparées sur le diamant, les rayons rouges se montrèrent inefficaces, les rayons bleus, au contraire, dé-

Digitized by Google

terminèrent une vive phosphorescence. Dufay, de son côte, avait fait cette curieuse expérience.

De Grosser voulut savoir pourquoi certains diamants se montraient phosphorescents par l'effet d'une simple insolation, tandis que d'autres, plus réfractaires, n'émettaient aucune lumière, même après l'action longtemps prolongée d'une radiation intense. Il s'assura que ni la couleur des diamants, ni le lieu de leur origine n'influaient sur cette différence mystérieuse; poussé à bout, il fit un singulier essai : il jeta un diamant non phosphorescent, du poids de six grains et taillé, dans du borax fondu; puis il dirigea sur ce même diamant recouvert de borax un jet de flamme vive, jusqu'à ce que le sel fut entièrement vaporisé; refroidi alors et placé au foyer des rayons bleus, ce diamant répandit une lumière brillante; d'autres diamants taillés et non taillés, traités de la même manière, donnèrent les mêmes résultats. Quels changements cette opération avait-elle fait subir au cristal? nous l'ignorons; mais il est certain, qu'elle le ramena à des conditions de vibrations faciles.

Engefield, en 1802, constata que les rayons bleus possédaient, dans un degré beaucoup plus marqué que les rayons rouges, la faculté de faire briller le phosphore de Bologne : résultat confirmé plus tard par Seebeck, Ritter et Goëthe.

Les mémoires de Dessaignes, couronnés en 1808 et 1807 par l'Académie des Sciences de Paris, ont fait époque dans l'histoire de la phosphorescence. Ils s'appuient sur des principes incontestables, mal énoncés avant lui, et contiennent une multitude de faits importants: nous verrons bientôt qu'on a peu ajouté à ces consciencieuses recherches. Il faut admettre, avant tout, disait Dessaignes, que les interstices moléculaires contiennent une certaine quantité de fluide lumineux libre ou en combinaison avec les molécules : que le calorique se transforme souvent en lumière, en ce sens que le mouvement vibratoire qui produit la chaleur, détermine le mouvement ondulatoire, qui est la cause de la lumière; que la phosphorescence n'est pas le résultat d'une lumière absorbée et retenue par le corps irradié, et qui serait ensuite rendue ou rejetée; que la lumière phosphorique préexiste réellement à l'irradiation qui occasionne l'émission subséquente de lumière, etc., etc.

Égaré d'abord par l'influence trop grande, qu'il attribua à l'eau de

Digitized by Google

cristallisation, Dessaignes se jeta dans un excès contraire, il ne vit plus d'autre cause de phosphorescence que le fluide électrique ; mais dans l'intervalle qui sépara ces deux exagérations ; il accumula les observations les plus intéressantes et les mieux faites sur la distinction entre les différents genres de phosphorescence, sur le rôle de la chaleur et l'électricité, etc., etc. Il prouva qu'un mélange de neige et de glace n'arrête pas l'émission de lumière pour un grand nombre de phosphores, du moins ; il vit ses doigts froids et secs devenir eux-mêmes phosphorescents ; il compara les aspérités des minéraux phosphoriques aux pointes qui donnent à l'électricité un passage facile ; il soupçonna enfin l'existence de l'ozone, devenu si célèbre par les nombreuses dissertations de M. Schœnbein ; et entra, à cet égard, dans des particularités qui auraient dû fixer plutôt l'attention des physiciens : ces mémoires, en un mot, sont une mine féconde qu'on n'exploitera pas sans utilité, même après les travaux plus récents de MM. Biot et Becquerel.

Placidius Heinrich formulait à la même époque, à Nuremberg, une grande partie des conclusions de Dessaignes : il affirma aussi, que lorsque la radiation tombe sur les substances phosphorescentes par exposition à la lumière, elle n'est pas absorbée, mais que son influence se borne à mettre en mouvement le fluide, qui s'y trouvait déjà. Heinrich aussi voulait que la désoxidation fut la raison dernière de la phosphorescence des minéraux.

De Grotthuss marcha dans une direction toute contraire : il voulut, envers et contre tous, justifier le nom de suceurs de lumière, donné aux phosphores par la langue allemande ; et prétendit établir qu'il existe des corps qui ont la faculté d'absorber la lumière dont on les frappe, et de la rendre ensuite peu à peu ; il ajoutait seulement, que ces deux forces d'absorption et d'émission subséquentes sont modifiées par la température, par leur faculté de conduire l'électricité, par l'eau de cristallisation, etc., etc. Cette opinion, comme cela devait être, n'est appuyée d'aucune raison sérieuse. Grotthuss réduisit à de justes proportions l'effet exagéré, attribué par Dessaignes à l'humidité, reconnut que l'haleine n'excite la phosphorescence que par le dégagement de chaleur qu'elle occasionne, et formula la théorie suivante, très en vogue il y a deux ou trois ans : la lumière, substance impondérable peut former avec la matière pondérable solide des

Digitized by Google

combinaisons qui subsistent sans altération lorsque cette dernière passe à l'état fluide, ou qu'elle est dissoute ; elle peut même, dans le cas d'une nouvelle modification chimique des éléments de la substance pondérable, passer de la première combinaison dans une nouvelle ; puis, par l'effet d'un simple changement dans la température, se dégager de nouveau sous forme de lumière rayonnante, et se perdre dans l'espace. C'est par trop newtonien ! Citons en passant une des observations qui ont conduit Grotthus à ce système ; la chlorophane devenu inphosphorescente après une incandescence prolongée, dissoute ensuite par l'acide chlorhydrique, précipitée par l'ammoniaque en fluate de chaux, séchée et mise dans l'obscurité sur une plaque de fer chauffée, ne répandit qu'une lumière blanche bleuâtre faible : la même substance non calcinée et traitée absolument comme d'abord, forme un précipité qui sur la plaque chaude répand une magnifique lumière vert émeraude : les cristaux obtenus, et qui forment les précipités, sont cependant parfaitement semblables. Mais voici quelque chose de plus mystérieux encore : on dissout séparément ces deux précipités dans de l'acide chlorhydrique, et par l'intervention de l'acide sulfurique, on transforme les deux fluates en sulfates de chaux ou sélénites ; or, de ces deux sulfates un seul sera très-phosphorescent, ce sera celui obtenu du fluate à belle lumière, vert émeraude, comme si celui-ci avait transmis sa lumière au sulfate.

M. Pearsall a publié, dans le *Journal de l'Institution royale*, deux notes relatives aux effets de l'électricité sur les minéraux que la chaleur rend phosphorescents. Répétant les expériences de Dessaignes : il établit, à son tour, que l'influence électrique excite une phosphorescence d'autant plus vive que la décharge est plus souvent répétée, qu'elle rend la faculté de luire aux substances qui l'ont perdue, et la communique même à des substances qui ne la possédaient pas. Ainsi des spath-fluors blancs, que rien, jusque-là, n'avait montré phosphophorescents, le devinrent après un nombre suffisant de décharges électriques ; et M. Pearsall remarqua avec surprise qu'en même temps qu'elle communiquait de plus en plus la phosphorescence, l'électricité colorait aussi de plus en plus en bleu le spath-fluor blanc.

En comparant la phosphorescence naturelle des corps avec celle que leur donne l'électricité, on vit que dans presque tous les échan-

Digitized by Google

tillons soumis à l'examen la série des couleurs était très-différente : à mesure que l'on multipliait le nombre des décharges les couleurs devenaient de plus en plus éclatantes et variées.

La phosphorescence imprimée artificiellement se développe à des températures plus basses que la phosphorescence naturelle et s'unit à elle, de manière à en augmenter également la durée et la force. L'état mécanique du minéral, la force de la cohésion, le mode d'arrangement des particules, leur contexture et l'étendue des surfaces sont autant de circonstances, qui peuvent influer sur la phosphorescence communiquée par l'électricité. M. Pearsall a remarqué que certains diamants acquerraient cette phosphorescence artificielle, tandis que d'autres se montraient absolument réfractaires.

Jusque-là M. Pearsall avait fait passer la décharge à travers la substance mise en expérience ; il changea plus tard ce mode d'application, et renferma la substance à essayer dans des tubes, sur la surface extérieure desquels passait la décharge : la phosphorescence fut encore évidente, quoique beaucoup plus lente dans son apparition ; il fallait alors un nombre de décharges incomparablement plus grand. Il constata aussi que l'effet produit par la lumière, provenant des pointes de charbon placées au pôle de la pile, était très-différent de celui de l'étincelle électriqne ordinaire.

Voici une des conclusions que M. Pearsall croit pouvoir tirer de ses expériences : « J'ai montré, dit-il, que l'on peut déterminer dans certaines variétés de fluors, en les électrisant très-fortement, une structure telle, qu'ils deviennent colorés ; et comme l'électricité influe sous différentes conditions, sur les rapports qui existent entre les molécules, détruisant et suspendant leurs combinaisons diverses; ne pourrait-on pas admettre que lorsqu'une substance, telle que du fluor calciné, qui n'est pas phosphorescente, est exposée à l'action des décharges électriques, il en résulte des vibrations entre les particules qui, se renouvelant à chaque décharge, modifient graduellement la structure du corps, et lui impriment un état particulier ? L'action de la chaleur ne consisterait-elle point à permettre au corps de revenir à son état primitif de structure, et ne seraient-ce point les vibrations qui ont lieu pendant ce changement dans les atômes de la matière qui donneraient naissance à la lumière phosphorescente ? Comme l'électricité aussi paraît ne conférer les couleurs au spath-fluor blanc,

Digitized by Google

qu'en modifiant de quelque manière l'arrangement moléculaire, ne se pourrait-il pas que les différences de couleur des fluors naturels tinssent à des différences de structure? Et ne peut-on pas supposer que la nature employant les mêmes moyens, c'est l'électricité qui occasionne la coloration de ces corps à leur état naturel. »

En s'efforçant d'expliquer au moyen de l'électricité par influence l'excitation de la phosphorescence au sein de substances renfermées dans des tubes de verre, M. Pearsall prouve qu'il n'a pas découvert que l'effet produit devait être attribué presqu'uniquement à la radiation lumineuse de l'étincelle ou de l'arc voltaïque, comme M. Becquerel l'a démontré plus tard.

Cet illustre physicien, dont nous allons maintenant analyser les mémoires, plaçait les coquilles d'huîtres sur lesquelles il opérait à une distance telle, que les influences électriques ne pouvaient pas s'exercer, et la phosphorescence était cependant excitée. Il remarqua en même temps que l'odeur d'hydrogène sulfuré, provenant de la réaction du sulfure de calcium sur l'eau contenue dans l'air, paraissait plus sensible à mesure que le nombre des décharges augmentait.

Grotthus, dans un de ses mémoires, dit en parlant du phosphore de Canton : « Lorsqu'on emploie cette composition déjà vieille et ayant perdu une partie de sa susceptibilité, sa réclusion dans le verre peut être désavantageuse, parce qu'il intercepte beaucoup de rayons. » N'était-ce pas indiquer qu'il avait remarqué l'influence des écrans? mais cette influence n'a été bien étudiée que par M. Becquerel, qui le premier nous a montré que des corps très-diaphanes, tels que le verre blanc, le papier glacé, etc., qui laissent passer la plus grande partie des rayons lumineux, enlèvent à ces mêmes rayons une portion considérable de la propriété en vertu de laquelle ils rendent les corps phosphorescents : d'autres, avant lui, avaient constaté que le verre rouge arrête la phosphorescence, tandis qu'elle est excitée à travers le verre bleu. Nous avons rappelé déjà les expériences faites par MM. Biot et Becquerel, sur l'effet des écrans mixtes; nous n'y reviendrons pas ici, et nous nous contenterons d'énumérer les faits réellement nouveaux découverts par eux.

Pour savoir si la radiation phosphorogénique se propageait seulement en ligne droite, à travers l'air ; ils couvrirent la capsule qui contenait la matière impressionnable avec un papier opaque percé

Digitized by Google

d'un petit trou rond d'environ un millimètre de diamètre et placé au centre. Le papier, enlevé subitement après la décharge, a laissé voir à ce centre un tout petit cercle lumineux d'un éclat très-vif, le reste de la matière demeurait obscure; mais, peu à peu, le reste s'est aussi ému, et la phosphorescence a fini par s'étendre sur toute la surface, l'effet s'est ensuite affaibli graduellement, puis il s'est éteint.

MM. Biot et Becquerel ont établi les propositions suivantes: 1° La radiation qui produit la phosphorescence est physiquement distincte de celle qui impressionne la rétine humaine; 2° une même portion de la radiation totale est ou n'est pas efficace à produire la phosphorescence, selon l'état plus ou moins excitable de la substance qui la reçoit; 3° une plaque de cristal de roche perpendiculaire à l'axe, arrête beaucoup moins la radiation phosphorogénique que la plaque taillée obliquement.

M. Biot a vu que les écailles d'huîtres calcinées ne sont pas rendues phosphorescentes par l'action à distance du vase rempli d'eau chaude, qu'elles le devenaient seulement au contact, faiblement et passagèrement. Le fer chaud, au contraire, tant au contact que par la radiation à distance, excite très-vivement la phosphorescence, et la ranime quand elle est éteinte. C'est le seul petit fait nouveau que la lecture la plus attentive nous ait fait rencontrer dans ces si nombreuses pages. MM. Biot et Becquerel avaient fait trop bon jeu des travaux antérieurs aux leurs: le reproche que leur adressa à cet égard M. Arago est justement fondé.

Arrivons aux recherches de M. Edmond Becquerel. Il a vu que la phosphorescence des coquilles d'huîtres ne diminuait sensiblement dans le vide ni en intensité, ni en durée. Il s'est assuré que l'étincelle électrique qui éclatait dans l'air rarefié, et dans le vide, excitait beaucoup moins la phosphorescence; mais il résulte de la discussion à laquelle il s'est livré lui-même, que cette différence tient uniquement à ce que dans le vide la lumière de l'étincelle électrique est beaucoup moins intense. Il ne connaissait pas, sans doute, l'observation de Dessaignes, quand il croyait avoir constaté le premier que, dans un mélange réfringérant à 21°, la phosphorescence diminuait plus rapidement.

Quand M. Matteucci a rédigé le travail sur la phosphorescence, imprimé dans la bibliothèque universelle de Genève, il ignorait non-

Digitized by Google

seulement, comme il l'avoue naïvement, les travaux plus anciens des physiciens, mais même les mémoires qu'il affirme avoir lus ; et la réclamation faite à cette occasion par MM. Biot et Becquerel est très-juste. M. Matteucci, toutefois, a observé le premier le déplacement du maximum de l'effet phosphorogénique quand on changeait l'écran à travers lequel l'action s'exerçait, ou la matière dont le prisme était formé. M. Matteucci veut que la phosphorescence excitée par l'étincelle électrique soit moins durable que celle excitée par la lumière solaire ; comment l'a-t-il démontré ? a-t-il comparé d'abord les intensités des deux lumières avant de prononcer sur les effets produits ? nullement, tout le monde comprendra dès lors que la démonstration est vaine : et l'on regrettera de voir un physicien, dont le nom a eu de la célébrité, expérimenter avec si peu de précautions. Personne je crois, avant M. Matteucci, n'avait constaté que des lames liquides très-minces, d'huile douce, de vin, par exemple, et d'huile essentielle de térébenthine arrêtent la phosphorescence : il en est de même d'un diaphragme formé d'une épaisseur de chlore gazeux, de quinze millimètres d'épaisseur ; la vapeur d'iode, au contraire, même sur une grande épaisseur, n'arrête rien. Ce dernier fait ne prouve-t-il pas qu'il aurait fallu tenir compte de la couleur des écrans, ce que M. Matteucci ne fait pas : l'huile d'olive et le chlore sont jaunes ; et l'on sait que la lumière jaune n'excite pas, ou excite peu la phosphorescence.

M. Riess, dans une note insérée aux annales de Poggendorff, rend compte d'expériences entreprises par lui sur la phosphorescence du diamant : elles avaient pour but de démontrer que la lumière bleue, comme on le savait déjà, excite la phosphorescence du diamant, et que cette phosphorescence excitée est grandement affaiblie si l'on expose le diamant luisant à la radiation rouge : comme nous l'avons dit, M. Edmond Becquerel a fait dans cette voie un pas de plus.

Voilà, si nous ne nous trompons, tout ce que la science nous a appris jusqu'ici sur la nature et les caractères du phénomène curieux de la phosphorescence.

Digitized by Google

RAYONS MAGNÉTIQUES DU SPECTRE.

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME EXCITÉ PAR L'ACTION DE LA LUMIÈRE.

Le 3 juin 1812, le docteur Morichini, professeur de chimie au collége de la Sapience, à Rome, après avoir fait tomber les rayons colorés du spectre sur un papier blanc, et disposé une aiguille sur son pivôt, plongea cette aiguille dans le rayon violet, vers l'extrémité du spectre, et dans le voisinage du foyer des rayons chimiques, placé, nous l'avons vu, en dehors du rayon violet. Il vit l'aiguille qui, avant l'expérience, se maintenait dans toute direction, et oscillait indifféremment dans tous les sens, commencer à montrer une tendance d'abord vers le méridien du lieu, puis vers le méridien magnétique : l'effet sembla plus prononcé quand on plaça l'aiguille au foyer des rayons violets concentrés, sa pointe alors était nettement dirigée vers le nord; elle attirait la limaille de fer, etc. On réussissait mieux encore quand on dirigeait le foyer des rayons violets sur les aiguilles par un mouvement semblable à celui qu'on suit pour les aimanter dans le procédé ordinaire. On aimanta de cette manière quatre aiguilles qui avaient une action évidente sur la limaille de fer, se dirigeaient du nord au sud, s'attiraient par les pôles du nom contraire, etc. M. Morichini s'assura en même temps : 1° que les rayons solaires non réfractés par le prisme, concentrés avec une lentille et projetés sur le plateau d'un condensateur, jusqu'au point de l'échauffer considérablement, ne donnaient aucun signe d'électricité; 2° que le foyer des rayons violets fit deux fois diverger les pailles de l'électromètre, et que leur électricité était positive; 3° que les pailles étant en acte de divergence par l'électricité résineuse ou négative, elles se rapprochèrent lorsqu'on projeta sur le condensateur le foyer des rayons violets.

Volta, à Milan, et M. Gay-Lussac, à Paris, répétèrent les expériences de Morichini sans obtenir l'effet annoncé; M. Babini, au contraire, réussit pleinement, et crut même voir que l'aiguille était

Digitized by Google

attirée vers le rayon violet, qu'elle se soulevait pour l'atteindre, qu'elle prenait un mouvement latéral pour y entrer. M. Ridolphi trouva de de plus que des aiguilles placées dans l'obscurité sous l'influence du magnétisme terrestre, s'aimantaient beaucoup moins que celles frappées par la lumière, ce que M. d'Hombres-Firmas ne put jamais confirmer malgré le courage le plus persévérant. Rien n'était donc démontré encore, les Italiens, seulement, exaltaient outre mesure leur savant compatriote, comme l'auteur d'une des plus brillantes découvertes des temps modernes, lorsqu'en 1828, M. Arago communiqua à l'Académie la nouvelle suivante :

» Madame de Sommerville vient de faire connaître à la Société royale de Londres, un procédé simple et infaillible pour mettre en évidence la vertu magnétique du rayon violet ; le procédé consiste à ne diriger la lumière violette que sur l'une des extrémités de l'aiguille, en cachant tout le reste avec un écran ; alors, l'extrémité soumise à l'action du rayon, devient constamment un pôle nord, l'autre étant par conséquent un pôle sud. Avec le rayon bleu, on produit le même phénomène ; mais la vertu magnétique est plus faible et plus longue à se manifester. Avec le rayon rouge et le rayon orangé on ne produit absolument aucun effet, même lorsqu'on prolonge l'expérience pendant plusieurs heures. L'influence des rayons calorifiques qui viennent après le rayon rouge, est également nulle, ce qui prouve qu'on ne peut pas attribuer ce phénomène à une élévation de température. Les rayons violets et bleus que laissent passer les verres colorés suffisent pour l'aimantation des aiguilles, on peut hâter cette aimantation en concentrant les rayons magnétiques au moyen d'une lentille.

» Toutes les expériences précédentes ont été faites devant la Société royale de Londres ; et elles sont d'ailleurs si simples, qu'il est impossible de supposer qu'on ait pu se tromper. » M. Arago, n'en ayant eu connaissance que la veille de la séance, ne les avait pas encore répétées : nous ne trouvons nulle part que le savant expérimentateur ait daigné contrôler plus tard des faits qu'il exposait avec tant de lucidité, et sur lesquels il était plus que tout autre appelé à prononcer.

M. Christie, quelque temps après, annonça que l'amplitude des oscillations d'une aiguille aimantée diminue plus rapidement lorsque cette aiguille est exposée aux rayons du soleil que lorsqu'elle est

Digitized by Google

dans l'ombre, et que l'influence de la radiation s'étend aux oscillations des corps non magnétisés aussi bien qu'à celles de l'aiguille aimantée : c'était mettre en évidence les propriétés magnétiques de la lumière blanche elle-même. Citons quelques-unes des expériences de Christie : 1° deux aiguilles, l'une aimantée, l'autre non aimantée, prises dans le même morceau d'acier, exactement de la même forme, longues de 6 pouces et larges de 1, 5, oscillèrent successivement ensemble à l'ombre et au soleil : l'excès du dernier angle d'écart à l'ombre, sur ce même angle au soleil fut de 14° 9 ; la température, à l'ombre, était de 12° 6 ; au soleil, 54° 9 ; la différence de température ne pouvait pas expliquer la différence des écarts, et il fallut conclure que l'action des rayons solaires pour diminuer l'amplitude des oscillations est beaucoup plus forte sur l'aiguille aimantée que sur celle qui ne l'est pas. A l'aiguille d'acier non aimantée on substitua des aiguilles égales de verre, de cuivre, etc. ; le résultat fut le même. 2° Une même aiguille aimantée oscilla tour à tour sous l'influence des rayons rouges et des rayons bleus concentrés au foyer d'une lentille, les rayons rouges eurent une plus grande influence que les rayons bleus : M. Christie s'assura, dit-il, par une expérience directe, que cet excès ne pouvait pas être attribué à la chaleur plus grande des rayons rouges. 3° En substituant à la lumière solaire la radiation d'un feu de houille, on vit que cette dernière radiation abrégeait aussi les oscillations ; les expériences de M. Christie avaient d'ailleurs, quant aux rayons bleus et violets la même portée que celle de madame de Sommerville.

M. Baumgartner, en répétant les essais de l'illustre dame anglaise, fut conduit à ce résultat : qu'un morceau d'acier de la grosseur d'une aiguille à tricoter ordinaire, dont un ou plusieurs endroits sont polis et les autres sans éclat, et qu'on expose à la lumière directe et blanche du soleil, prenait un pôle nord à chaque endroit poli, et un pôle sud à chaque endroit non poli : cette aimantation extraordinaire était d'ailleurs si intense qu'on ne pouvait s'y méprendre ; on obtînt ainsi jusqu'à huit pôles sur un fil de huit pouces de long. Un morceau d'acier, seulement poli à l'une de ses extrêmités, prenait à cette extrêmité un pôle sud et un pôle nord à l'autre. Les résultats obtenus étaient les mêmes de quelque manière que les fils fussent orientés ; les fils mis en expérience étaient d'ailleurs certainement non-magné-

Digitized by Google

tisés. Voilà certes, une nouvelle propriété curieuse de la radiation solaire.

M. Walt suspendit à l'extrémité d'un balancier très-mobile des disques de diverses substances ; on plaçait le balancier sous un récipient de verre inaccessible à l'air, et dans lequel même on faisait le vide ; or, sous l'influence de la lumière solaire, lunaire, artificielle, tous les disques tournaient leur bord vers la source lumineuse, et disposaient leurs faces planes parallèlement à la direction des rayons incidents ; tous étaient attirés par la lumière pour être repoussés ensuite quand ils en avaient absorbé une certaine quantité : les disques se disposaient alors de manière à offrir le moins de prise aux rayons ; on crut, dans tous les cas, s'assurer que la chaleur ne jouait dans les phénomènes qu'un rôle secondaire.

M. Barlocci affirma qu'un aimant naturel faible, capable de soutenir à peine le poids d'une livre et demie, acquit après une exposition de trois heures seulement à la lumière directe du soleil une augmentation de force équivalente au poids de deux onces romaines ; dans les mêmes circonstances, la puissance d'un autre aimant doubla : on peut croire que cet accroissement était dû, non à l'influence de la lumière comme le veut M. Barlocci, mais à l'influence de l'orientation. Le même physicien prétend aussi que le pôle nord d'un appareil formé de deux aiguilles, était plutôt repoussé par la portion violette du spectre, tandis qu'il était attiré par les rayons rouges. Il fit une autre expérience encore : deux fils de cuivre avaient été disposés de manière à être en contact l'un avec le tronc, l'autre avec les jambes d'une grenouille ; les extrémités prolongées de ces fils étaient terminées d'un côté seulement par deux petits disques aussi de cuivre et peints en noir. En plaçant ces disques, l'un dans le rayon violet, l'autre dans le rayon rouge du spectre solaire, on obtenait des signes marqués de contraction chez la grenouille, aussitôt que les deux autres extrémités des fils de cuivre étaient réunies : ce phénomène qui ne se produisait pas dans l'obscurité ou lorsqu'on chauffait l'un des disques, serait donc véritablement un effet de lumière.

Après tant d'expériences concordantes faites en tant de lieux, par des physiciens habiles et indépendants, qui n'aurait cru à l'action électrique et magnétique de la lumière. Voici cependant que deux savants professeurs, MM. Riess et Moser, après avoir, eux aussi, expé-

Digitized by Google

rimenté longtemps et avec le plus grand de soin, viennent donner un démenti formel aux faits énoncés par Morichini, madame de Sommerville, M. Baumgartner, etc. D'abord, aucune des aiguilles non aimantées placées par eux en grand nombre au sein des rayons violets, n'acquit un degré certain et appréciable d'aimantation.

Pour s'assurer que le magnétisme ne subissait pas de changement pendant que les aiguilles se trouvaient dans la lumière violette; ils suspendirent dans un petit vase de verre une aiguille fortement aimantée, dont le pôle sud oscillait devant l'aiguille à éprouver, fixée verticalement, et soumise à l'influence du rayon violet rendu immobile au moyen d'un héliostat : pour répéter les expériences de M. Baumgartner, ils prirent des fils d'acier, polis sur divers point, et ils les fixèrent verticalement avant et après chaque expérience, devant le pôle boréal de la petite aiguille d'épreuve oscillant dans le tube cylindrique. La conclusion de ces patientes recherches fut qu'on pouvait, à juste titre, rejeter complètement une découverte qui, pendant un espace de dix-sept ans, avait périodiquement ému le monde savant. Les petites variations qui se trouvent dans quelques-unes de ces expériences, ne sauraient constituer, en aucune manière, une action réelle, de la nature de celles dont on avait fait tant de bruit : souvent même, ces variations étaient contraires à la prétendue influence de la lumière.

Un arrêt aussi formel ne désespéra pas M. Zantedeschi, physicien érudit sans doute, mais ardent ami du paradoxe soit théorique, soit expérimental : presque tous ses mémoires dénotent une absence trop absolue de cette sage défiance de soi-même, et de cet esprit critique sans lequel on n'est pas un observateur éclairé. M. Zantedeschi, donc, retrouva, dit-il, tous les résultats énoncés par Morichini et madame de Sommerville : Il vit l'aiguille plongeant par une de ses extrémités dans le rayon violet s'aimanter, se désaimanter, subir une inversion de pôles, etc., etc.: si les physiciens qui nient cette mystérieuse influence n'ont rien obtenu, c'est qu'ils opéraient à une température trop basse, que leurs fils provenaient d'une mine sulfureuse, que le diamètre de ces fils était trop gros, qu'ils appliquaient mal la lumière violette, etc., etc.: il est enfin pleinement convaincu qu'en opérant avec autant de sagacité et de bonheur que lui, tous verront naître sous le rayon violet une aimantation qui n'a pas besoin pour se

Digitized by Google

manifester du beau ciel d'Italie, qui ne redoute pas le ciel brumeux de l'Angleterre. L'action magnétique du rayon violet serait d'ailleurs, suivant M. Zantedeschi, une conséquence naturelle de son action chimique.

Il n'est pas jusqu'au résultat incroyable de M. Barlocci qui ne sortît triomphant des épreuves solennelles de M. Zantedeschi : un aimant artificiel en fer à cheval qui portait treize onces et demie, exposé au soleil pendant trois heures put porter trois onces et demie de plus; l'exposition ayant été continuée, son énergie s'accrût jusqu'à porter trente et une onces. L'auteur ne dit pas s'il fit une épreuve comparative; s'il suspendit son aimant dans l'obscurité, comme il l'avait suspendu au sein de la lumière : qui ne sait que la simple suspension d'un morceau de fer dans le sens vertical, l'aimante d'une manière sensible : au reste, il avoue naïvement qu'il a rencontré sur sa route bien des anomalies, que les aimants sont des espèces de protées qui se transforment sous les yeux de l'observateur ; qu'il ne faut donc pas s'étonner de rencontrer sur sa route des résultats contradictoires, etc. En réalité, rien n'est donc prouvé.

M. Zantedeschi vit encore que dans les jours ou le soleil est légèrement couvert d'un voile inégal, le pôle sud soumis à l'action de la lumière solaire concentrée, manifeste une augmentation d'énergie, tandis que le pôle nord manifeste une diminution, et le voilà qui, pour expliquer ce fait, dote la lumière d'une *polarité négative*, inverse de celle des couches de vapeur qui flottent dans l'atmosphère. Pauvres mots *polarité*, *polarisation*, quelles tortures ne vous a-t-on pas fait subir ?

Enfin, une aiguille d'un pied, disposée comme dans les expériences de Christie, et écartée dans l'ombre de sa position d'équilibre d'un axe de 90°, faisait en 30" quatre oscillations, dont la dernière avait une demie-amplitude de 70° : exposée aux rayons solaires, elle faisait dans le même temps et les mêmes circonstances quatre oscillations dont la dernière n'avait plus qu'une demi-amplitude de 60°. Que penser maintenant de MM. Riess et Moser qui, même en armant leur œil d'une loupe, et répétant leurs expériences des centaines de fois, n'ont vu aucune de ces différences gigantesques de 10°; c'est sans doute parce qu'ils n'ont pas voulu voir ; peut-être cependant, les esprits judicieux aimeront-ils mieux croire que M. Zantedeschi a été

Digitized by Google

par trop crédule, on a opéré avec un laisser-aller, dont les savants italiens ne se défendent pas toujours. Pfaff, qui a répété avec le soin le plus minutieux les expériences de Walt, a montré jusqu'à l'évidence que les oscillations des aiguilles munies de disques étaient l'effet de la chaleur et nullement de la lumière; il affirme que pour admettre le contraire, il fallait être physicien peu profond : M. Zantedeschi, malgré cet avertissement salutaire, prend M. Walt sous sa protection ; c'est jouer de malheur.

M. Matteucci, qui ignorait sans doute les premières expériences de Morichini, annonça, en 1829, que convaincu depuis longtemps de l'existence de l'élétricité dans les rayons solaires, il les a éprouvés au condensateur à feuilles d'or, et qu'il a clairement vu les feuilles diverger. Faisant un pas de plus, il a exposé à la radiation solaire des lames de verre qui, éprouvées ensuite à l'électromètre, ont donné des signes évidents d'électricité.

Rappelons aussi l'expérience curieuse de M. Edmond Becquerel. Dans un vase à deux compartiments, séparés par une membrane très-mince, il versait une solution alcaline ou acide; deux lames de platine ou d'or horizontales, plongeaient de part et d'autre dans la solution, et communiquaient avec un multiplicateur à fils longs : on faisait alors tomber sur l'une des lames un faisceau de rayons solaires, et l'on trouvait que cette lame prenait dans une solution alcaline l'électricité négative, avec une solution acide l'électricité positive. La déviation était de deux à trois degrés dans le premier cas, de six à sept dans le second. On pourrait croire que ces effets sont dûs à l'action calorifique des rayons solaires; mais il n'en est pas ainsi, comme on peut le voir, en comparant, sous le rapport des effets électriques produits, l'ordre d'action des écrans de verre coloré placés successivement sur l'appareil, avec l'ordre d'action de ces mêmes écrans recouvrant les deux pôles d'une pile thermo-électrique. Des expériences directes ont prouvé qu'il n'y avait aucune action dans les rayons rouges, orangés, jaunes et verts; une faible action dans les rayons bleus, indigos; une action marquée dans les rayons violets : dès lors, les rayons qui agissent sur les lames de platine ou d'or plongées dans les dissolutions étant plus réfrangibles que les rayons calorifiques ne sauraient produire des effets de chaleur ; et il est probable que l'effet obtenu est dû à l'action des rayons chimiques.

Digitized by Google

En opérant avec des lames de métaux oxidables, on y vit la lame exposée au rayonnement dans l'eau acidulée, prendre au liquide l'électricité positive ; effet inverse de celui qui aurait eu lieu si la lame eût été attaquée par l'eau acidulée. Sous l'écran violet la déviation était plus grande que sous les autres écrans ; elle était moins grande au contraire dans les rayons verts que dans les rayons violets.

Nous ne pourrons pas analyser les mémoires ou notes de MM. Kastner et Hæser, sur les propriétés magnétiques des rayons solaires, parce qu'il nous a été impossible de nous les procurer ; s'ils avaient du reste renfermé quelques faits entièrement nouveaux, nous en eussions trouvé des traces dans les recueils périodiques plus connus.

Que conclure de cet exposé rapide ? Nous ne le savons vraiment pas : les uns nient, les autres affirment que les rayons violets du spectre sont réellement magnétiques, que la lumière exerce vraiment une influence de nature électrique : et ce qu'il y a de plus incroyable, c'est qu'ils prétendent tous juger sur le témoignage de leurs sens, et en vertu d'expériences bien faites. Il nous semble cependant que l'opinion négative offre un plus grand degré de probabilité, et que l'action magnétique de la lumière violette ou blanche n'est réellement pas démontrée. Dans son intéressant ouvrage de *la connexion des sciences physiques*, madame de Sommerville a volontairement omis tout ce qui concerne sa découverte et les curieuses expériences soumises autrefois par elle au jugement de la Société royale ; ce silence ne prouve-t-il pas qu'elle a été convaincue elle-même de l'insuffisance de sa démonstration. D'un autre côté, M. Baumgartner, plus fort de l'appui que lui prêtait M. Zantedeschi, prétend que les résultats négatifs de MM. Riess et Jacobi ne renversent en aucune manière les faits positivement observés par lui ; et l'autorité de M. Baumgartner a sans contredit une certaine valeur. En présence de ces jugements diamétralement opposés, nous hésitions encore, quand la note suivante de l'illustre Faraday, est venue dissiper en partie nos incertitudes.

« Je ne pense pas que les expériences de Morichini sur la production du magnétisme par les rayons violets extrêmes du spectre prouvent l'existence d'une relation de ce genre. Lorsque j'accompagnai à Rome sir Humphry Davy, en 1814, je passai plusieurs heures chez Morichini, travaillant avec son appareil, et sous sa direction ; mais je ne pus

Digitized by Google

réussir à aimanter une aiguille. Je n'ai aucune confiance dans cet effet, considéré comme résultat direct de l'action des rayons solaires ; mais je pense, que lorsqu'il s'est présenté, c'était comme effet secondaire, accessoire, et peut-être même accidentel ; parce qu'il peut très-bien arriver que l'aiguille conserve pendant toute la durée de l'expérience sa position nord-sud. » M. Faraday, cependant, après avoir dit : « Ainsi se trouve établi, pour la première fois, je pense, un rapport direct entre la lumière et les forces électriques et magnétiques, » ajoute, à la date du 2 janvier 1846, « je n'aurais pas écrit *pour la première fois* comme je l'ai fait, si je m'étais rappelé les expériences de M. Christie et ses mémoires, sur l'influence des rayons solaires sur les aimants, insérés dans les transactions philosophiques pour 1826. Les expériences de M. Christie étaient une confirmation de celles de Morichini et de madame de Sommerville ; si les unes doivent être acceptées, pourquoi repousserait-on les autres ? Il y a ici contradiction dans les termes, et notre embarras recommence, d'autant plus que M. Knor, en 1840, et M. de Moleyns, en 1842, après de longues expériences sur de nombreuses aiguilles, affirment que l'action magnétique de la lumière ne saurait être révoquée endoute. Voici une analyse succincte de la note de M. de Moleyns. Il reconnut qu'une aiguille à coudre placée avec soin à la surface de l'eau, peut prendre une polarité manifeste, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir les rayons du spectre, elle se place d'elle même dans le plan du méridien magnétique, la pointe tournée vers le nord, et la tête du côté du sud. Mais vient-on à soumettre l'aiguille à l'action des rayons réfractés, elle s'aimante en sens contraire ; et par conséquent dirige sa pointe du côté du midi. Cet effet se produit en donnant à l'aiguille les positions les plus différentes dans le spectre : en plaçant, par exemple, la pointe dans le rayon bleu, et la tête dans le rouge ; ou celle-ci dans l'espace obscur situé au-delà du rayon violet, la pointe plongeant dans le violet extrême ; ou bien encore en mettant l'aiguille en long dans le rouge, le bleu et le violet. Néanmoins, le renversement des pôles s'effectue plus rapidement sous l'influence des rayons bleu et violet que sous celle du rayon rouge ; une autre circonstance importante à noter, c'est que ce renversement des pôles ne se manifeste qu'autant que la direction de l'aiguille n'est pas celle des courants magnétiques terrestres ; aussi, vient-on à faire tomber sur elle le spectre solaire pendant qu'elle flotte à la surface

Digitized by Google

de l'eau dans le méridien magnétique, sa polarité n'éprouve aucun changement, sa pointe continue à se diriger vers le nord.

Il n'en fut pas de même lorsque M. de Moleyns soumit l'aiguille à l'influence du spectre lunaire : la pointe de l'instrument quitta alors la direction du pôle boréal, l'aiguille se plaça dans le méridien terrestre, puis elle commença à se mouvoir latéralement, mais avec lenteur, vers cette partie du spectre ou prédominent les rayons bleu et violet, et finit par se placer perpendiculairement au plan magnétique. En soustrayant l'aiguille à l'influence des rayons, on reconnaissait que la pointe revenait toujours à sa position primitive, et se dirigeait vers le pôle nord, alors même qu'elle en avait été écartée et tournée vers le sud. Ainsi, les renversements obtenus avec le spectre lunaire, ne sont pas permanents comme dans le cas ou ils se produisent par l'action du spectre solaire ; ceux-ci persistaient au moins vingt-quatre heures après qu'on avait fait cesser l'action de la radiation.

Arrêtons-nous, et laissons au temps à éclaircir ce difficile mystère : chacun de nos lecteurs prendra à cet égard le parti qui lui semblera le plus raisonnable.

Dans tous les cas, si le photomagnétisme tel que l'avaient formulé Morichini, madame de Sommerville, MM. Baumgartner, Christie, Zantedeschi, n'est qu'un beau rêve, il est démontré aujourd'hui jusqu'à l'évidence, par les magnifiques recherches de MM. Faraday et Neff, que le magnétisme et l'électricité exercent sur la lumière une action au moins indirecte et énergique, et que ces deux grandes classes de phénomènes ont entre elles des relations intimes. Nous insérerons ici l'analyse de ces brillants travaux pour nous consoler des incertitudes pénibles que nous venons d'énumérer.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LA MAGNÉTISATION DE LA LUMIÈRE, ET L'ILLUMINATION DES LIGNES DE FORCE MAGNÉTIQUE. Par M. FARADAY.

Ce titre, il faut l'avouer, est irrationnel et bizarre ; M. Faraday reconnaît lui-même qu'il a offensé beaucoup de savants ; il ne se défend qu'en avouant naïvement que les expressions hasardées dont il

Digitized by Google

se sert doivent être prises dans un sens autre que leur sens naturel. « On a compris, dit-il, que cette phrase : *illumination des lignes magnétiques*, voulait dire que je les avait rendues lumineuses : ce sens n'était pas dans ma pensée. Je n'ai pas voulu exprimer que les lignes de force magnétique sont illuminées comme la terre est illuminée par le soleil, ou comme la toile d'araignée est illuminée par la lampe de l'astronome : mais l'emploi d'un rayon de lumière nous permet de définir la direction des lignes magnétiques, de la rendre sensible, de montrer sa marche par les modifications imprimées au rayon et son effet sur l'œil ; c'est là ce que je voulais dire par le mot illumination, ainsi que le prouve suffisamment mon mémoire. » Remarquons-le donc une fois pour toutes, M. Faraday ne prétend en aucune manière avoir rendu la lumière magnétique, ou la ligne de force magnétique lumineuse, et, sans vouloir le forcer à changer le titre de ce glorieux mémoire, reproduisons les faits capitaux qu'il renferme : nous le laisserons parler lui-même dans une traduction libre et abrégée.

§ 1. *Action des aimants sur la lumière.*

« Je veux définir avant tout certains termes dont je me servirai souvent : j'entends par *lignes de force magnétique* les lignes droites ou courbes suivant lesquelles l'action magnétique s'exerce, et qui tantôt partent d'un pôle donné ou se dirigent vers lui ; tantôt se contournent en cercles ou courbes magnétiques autour de l'un et l'autre pôle. Par *ligne de force électrique*, je veux désigner l'action qui s'exerce dans la direction de la ligne qui joint deux corps agissant l'un sur l'autre suivant les lois de l'induction électrique statique : cette direction peut être aussi rectiligne ou curviligne. Enfin, j'appelle *corps diamagnétique* un corps que traversent les lignes de forces magnétiques ou électriques, sans que sous leur influence ils soient magnétisés à la façon du fer ou des aimants naturels.

» Un rayon de lumière emprunté à une lampe d'Argant, après avoir été polarisé dans un plan horizontal par la réflexion à la surface d'une glace noire, était reçu sur un prisme de Nichol mobile autour d'un axe horizontal et le traversait, de manière à pouvoir être

Digitized by Google

analysé facilement. Entre le miroir polariseur et le prisme on disposait deux pôles électro-magnétiques puissants; les deux pôles, par exemple, d'un aimant en fer à cheval, ou les pôles contraires de deux aimants cylindriques, etc. La distance des deux pôles, mesurée dans la direction du rayon lumineux était de deux pouces environ : le rayon passait ou très-près des pôles en les rasant, ou entre les deux pôles; et de manière à ce que sa direction fut toujours parallèle ou à peu près aux lignes de forces magnétiques qui sont ici les droites qui joignent les deux pôles. De cette manière, toute substance transparente placée entre les deux pôles sera traversée à la fois, en même temps et dans la même direction, par le rayon polarisé et les lignes de force magnétique.

» .... Une variété de verre pesant, dont j'ai décrit la préparation et les caractères généraux il y seize ans, et qu'en raison de sa composition on peut appeler boro-silicate de plomb, ... me fit découvrir le premier la relation qui existe entre la lumière et le magnétisme; il possède à un plus haut degré que toute autre substance la propriété de mettre cette relation en évidence.

» Un morceau de ce verre, d'environ deux pouces carrés, et de huit pouces cinq environ de longueur, à faces planes et polies, fut placé entre les pôles d'un électro-aimant autour duquel le courant électrique ne circulait pas encore; dans cette disposition, le rayon polarisé qui traversait le verre dans toute sa longueur, n'en éprouvait pas plus d'action que s'il avait traversé l'air, l'eau, ou toute autre substance indifférente ; si l'on tournait le prisme de manière à éteindre le rayon polarisé ou à le rendre invisible, il restait éteint malgré l'intervention du verre. Mais si en ce moment on déterminait l'aimantation en faisant passer le courant électrique dans les spires qui entouraient l'électro-aimant, le rayon jusque-là éteint s'illuminait tout-à-coup, on avait la sensation de la présence de la lampe, et cet effet durait autant que le passage du courant. En l'interrompant et faisant cesser l'action magnétique, on faisait aussi évanouir instantanément la lumière ; ces phénomènes se reproduisaient à toute heure et dans toutes sortes de circonstances : il y avait donc là relation de la cause à l'effet. Le courant employé dans les premières expériences était produit par cinq couples de la pile de Grove ; les électro-aimants portaient de vingt-huit à cinquante-six livres : avec si peu de force

Digitized by Google

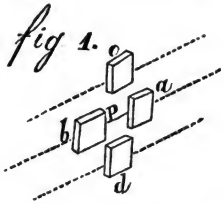
un œil peu exercé n'apercevrait presque rien. L'effet produit était un effet de rotation, car lorsque l'image de la lampe était rendue visible, la rotation plus ou moins grande du prisme à droite ou à gauche l'éteignait ; et, lorsqu'elle était éteinte, la rotation du prisme à droite ou à gauche la faisait reparaître avec des teintes complémentaires l'une de l'autre.

» Lorsque le pôle le plus voisin de l'observateur était déterminé, que c'était, par exemple, le pôle analogue au pôle nord de l'aiguille aimantée, la rotation du rayon était dextro-gyre, car le prisme devait tourner à droite, ou dans le sens des aiguilles d'une montre pour atteindre le rayon et ramener la sensation de la lumière. Lorsqu'on renversait les pôles, ce qui pouvait se faire instantanément par l'inversion du courant électrique, le sens de la rotation changeait aussi, elle était levo-gyre ; l'étendue de la rotation ou du déplacement était la même dans les deux cas : la direction de la force magnétique n'avait d'ailleurs pas changé. Lorsqu'on plaçait le verre, par rapport aux pôles, dans une série de positions faciles à concevoir, les effets obtenus étaient plus ou moins modifiés ; l'étendue du déplacement variait, et il était toujours parfaitement défini ; mais la première position est la position type ou normale.

» Les mêmes phénomènes se produisirent quand le boro-silicate de plomb fut soumis à l'influence d'un fort aimant ordinaire en acier et sans courant électrique, l'action seulement était plus faible. Aux électro-aimants massifs on substitua les deux pôles contraires de deux cylindres de fer creux et aimantés par le courant ; le rayon polarisé passait suivant leur axe, et traversait le verre pesant ; l'effet fut encore le même. On fit enfin usage d'un seul pôle magnétique, extrémité d'un électro-aimant cylindrique très-énergique ; on plaça le verre auprès de l'aimant, en contact immédiat avec lui, et d'abord entre l'aimant et la glace polarisante ; la rotation se produisit dans un sens ou dans l'autre suivant la nature du pôle employé. Quand plus tard on plaça le verre entre le pôle et l'œil, la rotation produite par ce même pôle fut de sens contraire : quand on intervertissait les pôles, les rotations changeaient de sens. Lorsque le verre pesant est placé au-dessus ou au-dessous du pôle, de telle sorte que la ligne de force magnétique traverse le verre, non plus parallèlement, mais perpendiculairement au rayon polarisé, il n'y a plus d'effet produit. On

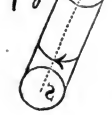
Digitized by Google

saisira mieux ces particularités diverses à l'aide de la figure ci-jointe.



dans laquelle *a* et *b* représentent les premières positions du verre, *c* et *d* les dernières; et les lignes pointillées la direction du rayon lumineux. Si le verre est placé à l'extrémité même de l'aimant, il n'y a non plus aucune action.

» Il résulte de tout ce qui précède, que les lignes de force magnétique en traversant le boro-silicate de plomb, lui communiquent la faculté d'agir sur un rayon polarisé parallèle ou oblique à leur direction; mais non sur un rayon perpendiculaire. Cette action consiste dans une rotation imprimée au rayon, et elle s'exerce suivant une loi générale qu'on peut énoncer comme il suit : si une ligne de force magnétique part d'un pôle nord ou vient d'un pôle sud, suivant la direction que le rayon polarisé parcourt pour arriver à l'observateur, elle fera tourner ce rayon vers la droite; elle le fera au contraire tourner vers la gauche si elle vient d'un pôle nord ou part d'un pôle sud. Concevons un cylindre de verre aux extrémités du-



quel on écrit les lettres *N* et *S* représentant les pôles d'un aimant : la ligne *NS* peut être considérée comme une ligne de force magnétique : si maintenant on trace autour du cylindre une courbe terminée en pointe de flèche pour mieux indiquer sa direction, ce simple appareil placé à la hauteur de l'œil dans les diverses positions qu'il peut

Digitized by Google

prendre montrera nettement la loi énoncée dans toutes ses conséquences. Si l'on suppose qu'une montre représente le corps diaphane, et qu'on place en esprit, en avant, le pôle nord d'un aimant, derrière, le pôle sud : le mouvement des aiguilles indiquera le sens de la rotation imprimée au rayon polarisé par l'influence magnétique.

» Voici l'ensemble des conditions qui affectent, limitent et définissent la nature et l'étendue de cette action nouvelle des aimants et de l'électricité sur la lumière.

» 1° La rotation est proportionnelle à la longueur de substance diamagnétique parcourue par le rayon et la force magnétique : on s'en assure en maintenant constante l'énergie de l'aimant, ainsi que la distance des deux pôles, entre lesquels on place successivement une, deux, trois, etc. pièces taillées dans un même morceau de verre pesant.

» 2° La rotation croît de même proportionnellement à l'intensité des lignes de force magnétique : on le constate en employant successivement des électro-aimants de plus en plus forts.

» 3° Il ne semble pas que l'étendue de la rotation soit modifiée par un mouvement quelconque imprimé au corps diamagnétique, traversé à la fois par le corps lumineux et l'action magnétique.

» 4° L'interposition du cuivre, du plomb, de l'étain, de l'argent et d'autres substances non magnétiques, soit entre le pôle et le corps diamagnétique, soit dans une autre situation sur le passage de la force magnétique, ne diminue en rien l'étendue de la rotation.

» 5° Le fer, au contraire, modifie considérablement les effets produits, soit parce qu'il change la direction des lignes de force, soit parce qu'il accroît ou diminue l'intensité de l'action magnétique. Ainsi, lorsque les deux pôles contraires sont situés du même côté du rayon polarisé, et que le verre pesant est placé entre eux dans la position la plus favorable, la présence d'un gros morceau de fer auprès du verre de l'autre côté du rayon peut affaiblir le pouvoir rotatoire de la substance diamagnétique. Cela tient à ce que les lignes de force magnétique qui d'abord traversaient le verre parallèlement au rayon, sont maintenant devenues obliques au rayon, parce que le fer a acquis lui-même deux pôles dont l'action se combine avec celle de l'aimant primitif. Si le fer était placé du même côté que l'aimant, la rotation diminuerait encore, parce que l'action de l'aimant est déviée par

Digitized by Google

celle des pôles acquis par le fer. L'influence du fer varie avec l'énergie de l'aimant, avec le volume et la pureté plus ou moins grande du métal.

» 6° Lorsqu'on met l'électro-aimant en communication avec la pile, la lumière produite par la rotation du rayon polarisé n'atteint pas immédiatement son intensité maximum ; elle augmente graduellement pendant une ou deux secondes ; et cette gradation est due au temps qu'exige le fer de l'électro-aimant pour acquérir toute la puissance magnétique que le courant électrique peut faire naître en lui. Si l'on interrompt la communication, la lumière diminue instantanément.

» 7° On n'a pas remarqué que le verre pesant traversé par les lignes de force magnétique, développât à son tour une puissance magnétique, ou exerçât une action magnéto-inductrice de la nature de celles que l'on connaît jusqu'ici. J'en ai placé des quantités considérables dans diverses positions en présence d'aimants et d'aiguilles aimantées, sans avoir jamais pu constater par les procédés les plus délicats une influence quelconque.

» 8° J'ai construit sous la forme de thermomètres très-sensibles des appareils contenant de l'eau, de l'alcool et d'autres liquides, sans avoir jamais pu apprécier la moindre variation de volume lorsqu'ils étaient dans la sphère d'activité des courbes magnétiques.

» 9° Un très-grand nombre de substances transparentes autres que le verre pesant possèdent, mais à des degrés très-différents, le même pouvoir d'imprimer un mouvement de rotation au rayon polarisé, sous l'influence des forces magnétiques. Cette faculté se trouve partagée par les corps les plus dissemblables au point de vue de leurs propriétés chimiques, physiques, mécaniques : des solides, des liquides, des acides et des alcalis ; les huiles, l'eau, l'alcool, l'éther l'acquierrent plus ou moins. Pour tous ces corps, l'action produite est essentiellement la même et consiste toujours dans la rotation imprimée au rayon polarisé ; en outre, le sens de la rotation, indépendant dans tous les cas de la nature ou de l'état physique de la substance, est complètement déterminé par la direction de la ligne de force magnétique. Lorsque la substance diamagnétique, mise en expérience, possède un pouvoir rotatoire propre, comme l'essence de térébenthine, le sucre, l'acide tartrique, les tartrates, etc., l'effet de

Digitized by Google

l'influence magnétique est d'augmenter ou de diminuer le pouvoir primitif, suivant que les deux rotations, naturelle et adventice, sont de même sens ou de sens contraire. La plus énergique de toutes les substances diamagnétiques est le boro-silicate de plomb : il est nécessaire de le bien recuire, car autrement les fragments employés auraient à un haut degré la faculté de dépolariser la lumière, et les phénomènes produits seraient alors moins nets. Le borate de plomb, substance beaucoup plus fusible, qui se ramollit à la chaleur de l'eau bouillante, se prépare très-facilement sous forme de plaques vitreuses bien recuites, et possède un pouvoir rotatoire presqu'égal à celui du boro-silicate : le flint-glass est moins actif, et le crown-glass beaucoup moins encore.

» Placées dans des positions où elles sont sans action propre sur le rayon polarisé, et soumises alors à l'influence magnétique, les substances cristallisées semblent se refuser au développement en elles de la faculté rotatoire. Le sel gemme, le spath-fluor et l'alun doués de la simple réfraction manifestent quelque action. Le cristal de roche, sur une épaisseur même de quatre pouces, n'a donné aucun indice d'action : il en est de même du spath d'Islande en rhomboïdes, ou taillé en cubes : le sulfate de baryte, le sulfate de chaux, le carbonate de soude et les autres substances doublement réfringentes sont également sans action ; avec une feuille d'or très-mince on n'a pu observer aucun effet.

» La meilleure manière d'essayer les liquides consiste à les introduire dans des tubes de un et demi à quatre pouces de diamètre, mieux dans de petites auges carrées que l'on place entre les pôles magnétiques. L'eau, l'alcool, l'éther, toutes les huiles fixes, les essences, etc., sont efficaces. Presque toutes les dissolutions aqueuses ou alcooliques employées ont manifesté une action sensible. Dans les liquides qui possèdent naturellement la faculté de faire tourner le plan de polarisation du rayon, la rotation accidentelle produite par l'influence magnétique se fait suivant les lois énoncées ci-dessus, sans aucun rapport avec la rotation primitive.

§ 2. *Action des courants électriques sur la lumière.*

» En considérant les rapports intimes qui existent entre les électro-

Digitized by Google

aimants et les simples hélices traversées par un courant électrique, on devait penser que les courants exerceraient sur la lumière la même action qu'un aimant; ces prévisions ont été pleinement confirmées par l'expérience. Je me suis servi d'hélices en fil de cuivre: trois d'entre elles que je désignerai sous les noms d'hélice longue, hélice moyenne, hélice de Woolwich, ont été surtout étudiées. La longue hélice agissait très-faiblement sur une aiguille aimantée placée à une petite distance; l'hélice moyenne agissait plus puissamment, et l'hélice de Woolwich très-énergiquement. On se servait dans tous les cas d'une même pile de Grove de dix éléments.

» Pour soumettre les corps solides à l'action de ces électro-hélices, on les taillait en forme de barres ou de prismes, ayant leurs extrémités planes et polies, et on les introduisait comme axes dans les hélices: pour les liquides on se servait de tubes de verre auxquels s'adaptaient des obturateurs en verre plans et polis. Voici quelques-uns des résultats obtenus de cette manière: on a rempli d'eau distillée le tube placé dans la longue hélice, et on l'a disposé dans la direction du rayon polarisé, de manière à faire arriver dans le prisme de Nichol l'image de la flamme de la lampe. On tourna alors ce même prisme de manière à faire disparaître l'image, et l'on fit passer le courant à travers l'hélice: aussitôt l'image reparut et persista tant que le courant fut établi; quand il cessa, l'image disparut de nouveau. La lumière n'apparut pas graduellement comme dans le cas d'un électro-aimant, mais instantanément. Cette longue hélice avait un quart de pouce de diamètre intérieur, cinquante-cinq pouces de longueur, et le fil dont elle était formée avait trois dixièmes de pouces de diamètre et douze cent quarante pieds de longueur. Ces résultats peuvent être reproduits à volonté; ne peut-on pas dire avec raison que dans cette expérience le rayon lumineux est électrisé, et la ligne de force électrique illuminée? Dans le cas où l'effet produit est peu sensible, au lieu d'amener le prisme de Nichol au point où la lumière est éteinte, il vaut mieux le placer un peu au-delà, ou un peu en-deça de cette position, de sorte que l'image de la flamme soit tout juste visible: alors, par l'effet du courant électrique, la lumière augmentera ou diminuera d'intensité, ou sera éteinte, ou même réapparaîtra de l'autre côté du point d'extinction: ces changements sont plus faciles à saisir que si l'œil partait de l'extinction complète. Cette

Digitized by Google

méthode d'observation fait très-bien ressortir le caractère rotatoire de l'action exercée sur la lumière; car, si sous l'action du courant il a fallu tourner dans un sens pour trouver l'image, on peut s'assurer en interrompant instantanément le courant que, pour la retrouver, il faut faire tourner le prisme en sens contraire. Ces deux effets sont rendus plus sensibles encore par la variation des teintes. On peut enfin rendre les phénomènes plus frappants en adaptant entre le tube et la glace polarisante une lentille de long foyer, ou une lentille de court foyer entre le tube et l'œil.

» Tant que le courant circule dans l'hélice, suivant un sens déterminé, la rotation produite par induction sur le rayon a lieu aussi dans un sens déterminé; si le courant change de direction et circule en sens contraire, la rotation a lieu elle-même en sens opposé. Pour bien assigner ces directions, je supposerai, comme on le fait ordinairement, que le courant va du zinc au platine à travers l'acide: un pareil courant passant sous le rayon vers la droite, et remontant à droite pour repasser au-dessus de ce même rayon vers la gauche, lui imprime une rotation à gauche : si le courant passe au-dessus du rayon à droite, et descend à droite pour passer au-dessous se dirigeant vers la gauche, il fera tourner le rayon à droite.

» Voici donc quelle est la loi générale suivant laquelle la rotation a lieu : lorsqu'un courant électrique circule autour d'un rayon de lumière polarisée dans un plan perpendiculaire au rayon, elle fait tourner ce rayon autour de son axe, et toujours dans le même sens que le courant. La simplicité de cette loi est très-remarquable; elle est identique avec celle qui exprime l'action des aimants sur la lumière. Si l'on a de nouveau recours au petit appareil *fig.* 2, la ligne tracée à l'entour du cylindre représentera en même temps le sens du courant et le sens de la rotation. Si l'on considère le cylindre comme un morceau de fer et non plus comme une substance diamagnétique placé entre les deux pôles, la ligne tracée autour du cylindre représentera encore la direction des courants qui, dans la théorie d'Ampère, se meuvent autour des molécules du fer.

» Voici quelques remarques importantes relatives à l'intensité de l'action produite. Lorsqu'on emploie un tube d'eau de la longueur de l'hélice, et qu'on le place de manière qu'une portion plus ou moins grande de ce tube dépasse l'hélice, vers l'une ou l'autre de ses extré-

Digitized by Google

mités, on peut même apprécier l'effet correspondant à la longueur de la substance diamagnétique, la puissance de l'hélice, et la forme du courant restant les mêmes. Plus la longueur de la colonne d'eau soumise à l'action de l'hélice est grande, plus la rotation imprimée au rayon est considérable. L'étendue de la rotation paraît être directement proportionnelle à la longueur de la colonne liquide autour de laquelle circule le courant électrique.

» Un court tube d'eau ou un morceau de verre pesant placé dans l'axe de l'hélice, paraissent produire le même effet sur le rayon lumineux, partout où on les arrête, au milieu ou à l'une des extrémités, pourvu qu'ils soient toujours plongés entièrement dans l'hélice et bien centrés : il semble donc que chaque spire de l'hélice produit le même effet. Si l'on place le tube tour-à-tour parallèlement à l'axe, suivant l'axe, ou un peu oblique à l'axe, on n'aperçoit pas de différence sensible dans l'effet produit : et je suis porté à croire, sans pouvoir toutefois l'affirmer positivement, que l'action exercée sur le rayon, est la même quelle que soit par rapport à l'axe, la position du tube dans l'hélice.

» Si l'on introduit dans l'hélice des corps doués d'un pouvoir rotatoire naturel, le pouvoir rotatoire communiqué par le courant électrique s'ajoute au premier, ou s'en retranche, exactement comme dans le cas d'un aiman .

» On a construit en fil de cuivre non recouvert de soie, de 0, 05 de diamètre une hélice de 20 pouces de longueur, et de 0,3 de diamètre : puis on l'introduisit dans un large tube d'eau, de manière à pouvoir étudier l'effet produit par l'eau sur le rayon polarisé, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur de l'hélice. L'on vit de cette manière que quand le courant était établi, l'eau dans l'intérieur de l'hélice acquiérait le pouvoir rotatoire ; tandis qu'en dehors, on ne put apercevoir aucune action, même quand le rayon lumineux rasait les spires de cuivre. On a remplacé le tube de verre par des tubes de laiton et de cuivre, sans que le changement de nature de l'enveloppe ait paru modifier l'effet produit sur l'eau qu'elle renferme ; même quand l'enveloppe était de fer, l'effet ne variait pas. Une barre de verre, de un pouce carré, plus longue que l'hélice, fut placée dans cette dernière, au-dessus on posa le tube rempli d'eau ; la rotation fut encore la même.

Digitized by Google

» On choisit trois tubes de fer, ayant chacun vingt-sept pouces de longuer, ⅛ de pouce d'épaisseur, et de diamètres, convenables pour qu'ils puissent entrer facilement l'un dans l'autre, et dans l'hélice de Woolwich. Le plus petit fut rempli d'eau, fermé par des obturateurs en verre, puis placé dans l'axe de l'hélice, et l'on nota la rotation imprimée au rayon ; on introduisit alors le premier tube dans le second, ce qui portait à ¼ de pouce l'épaisseur de fer comprise entre l'eau et l'hélice; le pouvoir rotatoire fut plus grand qu'auparavant. Enfin, quand on plaça dans le troisième tube, l'ensemble des deux premiers, le pouvoir rotatoire diminua, en restant encore assez considérable. Ces résultats sont compliqués, parce qu'ils dépendent de la nouvelle condition que le fer introduit dans l'action des forces mises en jeu. Jusqu'à une certaine limite d'épaisseur, la force magnétique de l'hélice et du fer placé dans son intérieur s'accroît, et la rotation par conséquent augmente; mais, passé cette limite, l'action magnétique diminue ou est en partie détournée, et la rotation devient moindre. Le verre pesant placé dans des tubes de fer se comporte de la même manière que l'eau.

» Le sulfate de soude, la dissolution d'acide tartrique, l'alcool, l'éther, l'essence de térébenthine, placés dans l'hélice furent influencées et agirent sur la lumière, précisément comme lorsqu'elles étaient soumises à l'action magnétique. Même en réunissant les trois hélices, il a été impossible de mettre en évidence une action quelconque, sur la lumière, de l'air influencée par le courant.

» En passant dans l'hélice le courant échauffe le métal, et cette élévation de température compliquerait les résultats obtenus, si l'on ne prenait pas certaines précautions ; si, par exemple, on n'isolait pas le tube qui renferme les liquides à essayer.

» Une autre circonstance dont il faut se défier, c'est la difficulté, je dirai presque l'impossibilité de se procurer des morceaux de verre qui, surtout après avoir été taillés, ne dépolarisent pas la lumière : Lorsqu'ils la dépolarisent la différence de position produit une immense différence dans les apparences obtenues. En ne visant que sur la portion de lumière non dépolarisée, celle, par exemple, qui dans le prisme de Nichol donne la croix noire en plaçant l'œil aussi près que possible du verre, cette difficulté peut être surmontée avec plus ou moins de succès.

Digitized by Google

» Pour donner une idée générale de la valeur numérique de la rotation obtenue avec diverses substances, je rapporterai ici le résultat de quelques expériences : on se servait d'un puissant électro-aimant, la distance des pôles était constante, et de deux pouces et demi; en prenant pour unité la rotation imprimée par l'eau, sous l'influence du courant; la rotation imprimée naturellement par une longueur égale d'essence de térébenthine était 11, 8, et les pouvoirs rotatoires des substances diamagnétiques suivantes étaient : pour le verre pesant 6, 0; pour le flint-glass, 2, 8; pour le cristal de roche, 2, 2; pour l'alcool moins que l'eau; pour l'éther moins que l'alcool.

» Après avoir constaté l'action des aimants et des courants électriques, il restait à étudier les effets de l'électricité statique. On fit donc passer dans le verre pesant, le flint-glass, le cristal de roche, le spath d'Islande, l'essence de térébenthine, et dans l'air un rayon polarisé; puis au moyen d'armatures, d'une bouteille de Leyde, et d'une machine électrique, une ligne de tension électro-statique, tour-à-tour parallèlement, perpendiculairement et obliquement, par rapport à la direction du rayon lumineux, mais sans obtenir aucun effet. Le résultat fut négatif encore, quand à l'électricité statique, on substitua la tension d'un courant secondaire d'induction rapidement récurrente. De quelque manière qu'on ait fait arriver le courant électrique dans les liquides traversés par un rayon de lumière polarisée, jamais on n'a aperçu aucune trace d'action directe, différente de l'action indirecte déjà décrite. Les dispositions de ces expériences, variées à l'infini, furent quelquefois si heureusement prises, que lorsque le courant électrique passait, le liquide tournait avec rapidité, et cependant le rayon polarisé qui traversait cet arrangement n'était pas du tout influencé. »

§ 3. *Considérations générales.*

» Ainsi se trouvent établis pour la première fois, je pense, un rapport direct, une dépendance véritable entre la lumière, les forces magnétiques, et les forces électriques; et les expériences que nous venons de décrire confirment les faits et les arguments par lesquels on s'efforce de prouver que toutes les forces naturelles sont liées entre elles et ont une origine commune.

Digitized by Google

» Les forces magnétiques n'agissent pas sur le rayon lumineux directement, et sans l'intervention d'une substance matérielle, mais bien par l'intermédiaire de la substance dans laquelle elles coexistent avec le rayon lumineux : ces substances et ces forces se communiquent réciproquement le pouvoir d'agir sur la lumière. Le fait est démontré par la négation d'action du vide, de l'air et des gaz ; il est encore démontré par le degré spécial auquel les diverses substances possèdent cette propriété. Ce fait, que la force magnétique agissant toujours sur la lumière de la même manière, et dans le même sens, indépendamment de la nature diverse des substances soumises à son action, de leur état de solidité ou de liquidité, de leur pouvoir rotatoire propre et naturel, prouve qu'il existe un rapport direct entre la force magnétique et la lumière : mais, d'un autre côté, comme les corps sont nécessaires et qu'ils agissent dans des degrés d'efficacités différentes, cette circonstance indique que le magnétisme et la lumière agissent l'un sur l'autre, par l'intermédiaire de la matière.

» Je n'ai plus le moindre doute que les forces magnétiques agissent et influent sur la constitution intime des substances diamagnétiques, aussi bien dans l'obscurité, que lorsqu'un rayon de lumière les traverse. Je pense, en outre, que les phénomènes lumineux paraissent présenter les seuls moyens précis d'observer cette constitution et les changements qu'elle éprouve. Au reste, des changements de cette nature doivent arriver aux corps opaques tels que le bois, les pierres, les métaux ; car, considérés comme corps diamagnétiques, ils ne doivent pas différer des corps transparents : le degré de transparence peut tout au plus, sous ce rapport, établir une distinction entre les espèces d'une même classe.

» Si les forces magnétiques avaient aimanté ces corps, nous aurions pu étudier des aimants transparents, ce qui eût été pour nous d'un grand secours dans nos recherches sur les forces de la matière ; mais ces corps, soumis à l'influence des forces magnétiques ne deviennent pas des aimants ; et par conséquent leur état moléculaire doit être alors spécifiquement distinct de celui du fer aimanté, ou de toute autre substance analogue, et doit constituer un nouvel état magnétique.

» Cet état est peut-être un état de tension électrique avec tendance au courant, de même que dans les aimants, suivant la théorie d'Ampère, l'état magnétique est un état de courant. Tous nous porte à

Digitized by Google

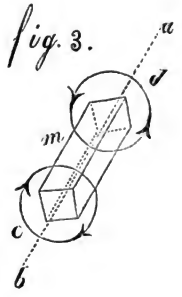
croire que lorsqu'on place un cylindre de fer dans une hélice, il se produit en lui des courants électriques qui tournent ou se meuvent dans un plan perpendiculaire à l'axe de l'hélice. Si l'on place dans la même position un corps diamagnétique, il acquiert le pouvoir de faire tourner la lumière dans le même plan : la modification reçue est un état de tension ; mais il ne s'est pas développé de courants, bien que la force active et toutes les autres circonstances soient les mêmes que celles qui produisent des courants dans le fer, le nickel, le cobalt et les autres substances de cette nature, lorsqu'elles sont convenablement placées. Il résulte de ce qui précède que l'idée d'admettre qu'il existe dans les corps diamagnétiques, dans de semblables circonstances, une tendance au courant, s'accorde avec les phénomènes que nous avons décrits ; et elle est encore corroborée par ce fait, qu'un simple changement de température peut modifier considérablement la puissance magnétique du fer, du nickel, du cobalt, et les faire rentrer dans la classe commune des corps diamagnétiques.

» C'est la première fois, je crois, que l'on reproduit artificiellement la condition moléculaire nécessaire pour produire la rotation du plan de polarisation d'un rayon lumineux. Il est extrêmement intéressant de comparer cet état bien connu, cette condition bien déterminée des corps, avec l'état relativement inconnu de ceux qui possèdent naturellement le pouvoir rotatoire ; surtout, si l'on considère que parmi ces derniers quelques-uns tournent vers la droite, et d'autre vers la gauche ; et que dans le cas du quarz et de l'essence de térébenthine, le même corps, chimiquement parlant, qui se trouve être pour le dernier un liquide ayant ses particules libres et mobiles, présente des échantillons différents, dont les uns tournent dans un sens, et les autres dans l'autre sens.

» On serait porté à admettre que l'état rotatoire naturel et celui qui dérive des forces magnétiques et des forces électriques doivent être les mêmes ; mais après un examen plus attentif, il semble très-difficile d'arriver à cette conclusion. Lorsque l'essence de térébenthine exerce sur le rayon lumineux son pouvoir rotatoire, ce pouvoir dépend des particules du liquide, et non de l'arrangement de la masse. Quelle que soit dans le fluide la direction du rayon polarisé, il est dévié circulairement, toujours de la même manière, et les rayons qui passent dans toutes les directions possibles à travers ce fluide sont tournés

Digitized by Google

tous simultanément avec la même intensité, et tous avec une loi commune de direction, c'est-à-dire tous vers la droite, ou tous vers la gauche. Il n'en est pas ainsi de la rotation additionnelle communiquée à la même essence de térébenthine, par les forces magnétiques et par les forces électriques ; elle n'existe que dans une seule direction, c'est-à-dire dans un plan perpendiculaire à la ligne magnétique ; elle est limitée à ce plan, et ne peut changer de direction que par un changement de sens de la force d'induction. Le sens de la rotation produite par l'état naturel, est lié invariablement à la direction du rayon lumineux ; mais le pouvoir de produire cette rotation paraît être possédé dans toutes les directions et à tous les instants par les particules du fluide. Le sens de la rotation produite par l'induction est lié invariablement à la direction de la ligne magnétique ou du courant électrique, et les conditions de sa production sont possédées par les particules de la matière ; mais ces conditions sont strictement limitées par la ligne ou par le courant, et changent ou disparaissent avec ces dernières.



» Soit *m* une caisse de verre remplie d'essence de térébenthine douée d'un pouvoir rotatoire naturel vers la droite, et *ab* un rayon de lumière polarisée. Si le rayon va de *a* vers *b*, la rotation aura lieu vers la droite ou suivant le sens indiqué par les têtes de flèche sur

Digitized by Google

le cercle *c*; si le rayon va de *b* vers *a*, et que l'œil soit placé en *a*, la rotation aura encore lieu vers la droite de l'observateur, c'est-à-dire suivant le sens indiqué sur le cercle *d*. Que l'on fasse passer maintenant un courant électrique autour de l'essence de térébenthine, dans le sens indiqué sur le cercle *c*, ou que l'on place des pôles magnétiques de manière à produire le même effet; les particules du liquide acquerront un pouvoir rotatoire ultérieur, que ne troublera aucun déplacement ultérieur de ses particules; et un œil placé en *b* verra le rayon venant de *a* vers *b* plus tourné vers la droite qu'auparavant. Mais qu'un rayon passe de *b* vers *a*, et qu'on l'observe en *a*, et les phénomènes ne seront plus les mêmes qu'auparavant. En effet, la nouvelle rotation, au lieu de se faire dans le sens indiqué sur le cercle *d*, aura lieu en sens contraire ou vers la gauche de l'observateur. En d'autres termes, la rotation d'induction s'ajoute à la rotation naturelle quand le rayon va de *a* en *b*, mais elle diminue d'autant cette même rotation naturelle lorsque le rayon va de *b* en *a*. Il résulte de là que les molécules de ce liquide qui exercent la rotation en vertu de leur pouvoir naturel, et celles qui l'exercent en vertu de la force d'induction, ne peuvent pas être dans les mêmes conditions.

» Bien que toutes les molécules de l'essence de térébenthine possèdent le pouvoir de faire tourner la lumière dans quelque direction que le rayon lumineux traverse le liquide, il peut très-bien arriver que le rayon ne soit influencé que par celles des molécules dont les plans de rotation lui sont plus ou moins perpendiculaires, et que ce soit la résultante ou la somme des forces suivant une certaine direction qui soit active dans la production de cette rotation : mais alors même il subsiste une différence considérable, en ce que la résultante dans le même plan n'est pas absolue en direction, mais relative à la marche du rayon, puisqu'elle est dans un cas dans le sens indiqué sur le cercle *c*, et dans l'autre, dans le sens indiqué sur le cercle *d*; tandis que la résultante de l'induction magnétique ou électrique est absolue et ne change pas avec la marche du rayon, puisqu'elle a toujours lieu soit dans le sens indiqué sur le cercle *c*, soit dans le sens indiqué sur le cercle *d*.

» Les corps doués d'un pouvoir rotatoire naturel propre ne paraissent pas pour cela posséder une plus grande ou une moindre

Digitized by Google

tendance à acquérir un degré ultérieur du même pouvoir sous l'influence des forces magnétiques ou électriques.

» A part les différences que nous venons de signaler et qui s'harmoniseront sans doute à mesure que les recherches s'étendront, on peut voir, entre les corps qui possèdent constamment le pouvoir rotatoire, comme un échantillon de quarz qui n'exerce de rotation que dans un plan, et ceux qui acquièrent ce pouvoir par induction ou par d'autres forces, comme un prisme de verre placé dans une hélice, la même analogie qu'entre un aimant naturel et l'hélice traversée par le courant. L'état naturel de l'aimant et du quarz ; l'état forcé de l'hélice et du verre pesant sont un premier pas vers l'analogie ; la supposition du courant existant dans l'aimant et dans l'hélice, et la simple tendance ou tension au courant dans le quarz et dans le verre pesant complètent le rapprochement.

» Quant aux corps qui ne paraissent offrir, jusqu'à présent, aucun indice d'action sur la lumière, et qui n'en acquièrent pas sous l'influence des nouvelles conditions magnétiques, ils peuvent être partagés en deux classes, dont l'une comprend l'air, les gaz et les vapeurs ; et l'autre le cristal de roche, le spath d'Islande et certains autres corps cristallisés. Je montrerai, dans une prochaine série de ces recherches, en me fondant sur des preuves tirées de phénomènes d'une nature entièrement différente, que les corps de la dernière classe acquièrent le nouvel état magnétique : et je suis même porté à croire que l'air et les gaz ont la faculté de prendre cet état particulier et même d'agir sur la lumière, mais à un degré si faible qu'on n'a pas encore pu le mettre en évidence. D'un autre côté, l'état gazeux est un état si remarquable de la matière, que nous ne devons pas admettre trop témérairement que les substances, qui à l'état solide ou liquide possèdent des propriétés même d'un caractère très-général, les conservent encore à l'état gazeux.

» Le sel gemme, le spath fluor et l'alun agissent sur le rayon lumineux, les autres cristaux que j'ai essayé n'agissent pas ; les premiers sont équi-axes et mono-réfringents, les autres sont inéqui-axes et biréfringents : peut-être que ces circonstances, avec celle de la rotation du quarz, peuvent maintenant indiquer un rapport entre le magnétisme, l'électricité et la cristallisabilité de la matière.

» Tous les corps sont sensibles à l'action des hélices et des aimants,

Digitized by Google

et les lois de ces actions prouvent qu'elles sont identiques dans leurs causes comme dans leurs effets : c'est une preuve de plus en faveur des vues d'Ampère sur l'identité des hélices et des aimants.

» Bien que ni les forces magnétiques, ni les forces électriques ne paraissent exercer d'action sur la lumière ordinaire ou sur la lumière dépolarisée, nous pouvons soupçonner hardiment qu'elles exercent quelque influence particulière que l'on mettra bientôt en évidence. Au reste, la relation qui existe entre la lumière polarisée et l'action magnétique ou électrique, est beaucoup plus digne d'intérêt que si on l'eût reconnue avec la lumière ordinaire, car la lumière polarisée offre des caractères plus précis ; elle est, si l'on peut s'exprimer ainsi, mieux déterminée. »

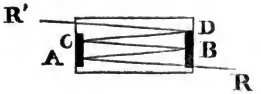
Quelques mois après la publication de ce beau mémoire, M. Faraday a fait de nouvelles et curieuses expériences destinées à mettre mieux en évidence les différences qui séparent le pouvoir rotatoire dû à l'influence magnétique du pouvoir rotatoire, dont jouissent naturellement certaines substances particulières. Voici le résumé de ces précieuses additions.

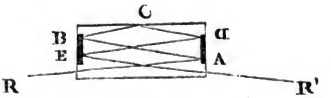
« Quand un rayon polarisé traverse un milieu transparent non doué de la double réfraction et placé dans la direction de la force magnétique, le plan de polarisation de ce rayon éprouve une rotation dont nous avons donné la loi très-simple dans le mémoire qui précède. Ce même rayon, polarisé dans son passage à travers un morceau de quarz ou une couche d'huile de térébenthine subit une rotation semblable tout-à-fait indépendante du magnétisme et dont les lois sont depuis longtemps connues. Il existe entre ces deux rotations semblables au premier abord, une différence très-grande : la première dépend uniquement de la direction de la force magnétique, et nullement de la position de l'observateur ; la seconde, au contraire, dépend de la position que l'observateur prend relativment au rayon. On devait conclure de ce fait important que l'effet de rotation produit par le magnétisme doit croître si l'on multiplie l'action de l'aimant sur le rayon ; or, c'est ce que l'expérience a pleinement confirmé.

» Un parallélépipède de verre pesant, de 0, 7 pouces de côté et de 2, 5 pouces de longueur, fut poli avec soin sur les deux petites faces extrêmes ; puis ces mêmes faces furent recouvertes d'une feuille d'argent de façon à présenter intérieurement une surface bien réfléchis-

Digitized by Google

sante. L'argent fut enlevé sur un espace d'un dixième de pouce, le long de l'un des bords, d'une des faces, et le long du bord opposé de la seconde face; de telle sorte qu'un rayon de lumière, introduit obliquement à travers l'une des faces, après deux, quatre ou six réflexions sur les portions argentées venait sortir par l'autre : le nombre des réflexions était d'autant plus considérable que le rayon était plus oblique aux plans des faces terminales.





» L'arrangement que nous venons de décrire, n'augmentera pas nécessairement la grandeur de la rotation, s'il s'agit d'une substance douée comme le quartz ou le sucre, d'un pouvoir rotatoire *naturel*. En effet, si le rayon en cheminant dans l'intérieur de la substance d'une face à l'autre, a éprouvé un certain effet de rotation pour l'observateur, qui le perçoit à la sortie après ce simple trajet, il en éprouvera un autre en sens contraire, en revenant par réflexion de la seconde face à la première; et par conséquent, pour l'observateur, placé près de cette première face, les effets se neutraliseront : si par exemple la rotation se fait toujours à la droite de l'observateur; comme ce dernier est placé dans des positions contraires par rapport aux deux rayons qu'il reçoit après un trajet simple, et un trajet double, les deux rotations seront contraires et se détruiront. En général, quelque soit le nombre des réflexions intérieures qu'éprouve le rayon polarisé dans la substance douée naturellement de la polarisation rotatoire, il ne manifestera aucune rotation s'il sort par la face par laquelle il est entré; il n'en manifestera pas plus que s'il n'avait fait qu'un seul trajet à travers la substance, s'il sort par la face opposée à celle par laquelle il a pénétré.

» Mais il n'en sera plus de même si la substance que le rayon polarisé traverse, est diamagnétique, et que la rotation ait lieu par l'effet de la force magnétique. Dans ce cas, en effet quelle que soit la route suivie par le rayon, la rotation qui lui est imprimée à toujours lieu dans la même direction parce qu'elle dépend des forces magnétiques extérieures; et il en résultera nécessairement qu'après une première

Digitized by Google

réflexion intérieure, c'est-à-dire après un double trajet dans la substance, le rayon aura éprouvé un mouvement rotatoire double de celui qu'il avait après un simple trajet ; que l'étendue de la rotation sera devenue triple, quadruple, quintuple, après deux, trois ou quatre réflexions, c'est-à-dire après trois, quatre ou cinq trajets à travers la substance. »

M. Faraday a confirmé tous ces résultats, en se servant des mêmes appareils qu'il a décrits dans son premier mémoire. Ainsi, le rayon polarisé qui avait traversé une seule fois le morceau de verre pesant, subissait une rotation de 12° sous l'influence de l'électro-aimant : cette rotation était de 36° quand le rayon, ayant éprouvé deux réflexions intérieures avait traversé trois fois, le morceau de verre : elle devenait de 60°, quand il l'avait traversé cinq fois; ayant éprouvé quatre réflexions intérieurs. Cette expérience montre bien que quelle que soit la manière dont un rayon de lumière traverse un corps diamagnétique, le sens de la rotation ne dépend que de la direction de la force magnétique ; ce qui établit une différence capitale entre ce genre d'action et celui qu'exercent les substances douées naturellement du pouvoir rotatoire ; telles que le quartz, l'essence de térébenthine, et les solutions sucrées.

On voit également que la grandeur de l'effet obtenu, est proportionnelle à la longueur du rayon soumis à l'action de la force magnétique. Ce résultat ici est évident, parce qu'on fait varier la longueur sans changer l'intensité de la force magnétique, ni aucune des autres circonstances de l'expérience : on n'a besoin, non plus, dans cette manière d'opérer, que d'un morceau très-court de substance diamagnétique, et qui serait loin d'être d'une longueur suffisante, si le rayon ne le traversait qu'une fois: cela permet de rapprocher davantage les pôles magnétiques entre lesquels la substance est placée, et par là d'augmenter l'énergie de l'action qu'ils exercent. Il n'est, par conséquent, pas nécessaire d'employer un aimant aussi fort et l'on réussit très-bien avec les aimants ordinaires. De même enfin, si l'on fait usage au lieu d'aimant d'une hélice traversée par un courant électrique, au centre de laquelle on place le corps diamagnétique, on n'a pas besoin que cette hélice soit aussi longue, ni aussi forte qu'elle devait l'être quand le rayon polarisé ne faisait qu'un seul trajet à travers la substance.

Digitized by Google

M. Faraday s'est servi de cette nouvelle méthode plus sensible, pour s'assurer encore si une couche d'air ne pourrait pas produire le même effet que le verre pesant et les autres substances diamagnétiques. Il a fait réfléchir plusieurs fois le rayon polarisé entre les deux pôles magnétiques fixes et très-rapprochés, à travers la couche d'air interposée entre eux, sans obtenir aucun résultat. Il n'a pas mieux réussi avec les substances douées de la double réfraction, telle que le cristal de roche et le spath calcaire. Cependant, il avait opéré avec ces deux substances comme avec le verre pesant qui lui avait donné des effets si prononcés.

Voilà l'histoire faite par M. Faraday lui-même de sa brillante découverte qui dans la postérité entourera son nom d'une gloire plus grande encore. Analysons maintenant en quelques mots, les recherches postérieures qui ont eu pour objet cette rotation éminemment curieuse imprimée au plan de polarisation du rayon lumineux, par l'influence des forces magnétiques et électriques.

M. Pouillet répéta le premier, en France, les expériences de M. Faraday, et en fit l'objet d'une communication à l'académie des sciences, dans la séance du 25 janvier 1845.

L'appareil de polarisation employé par M. Pouillet, fut celui de M. Soleil, composé essentiellement 1° d'un prisme de Nichol *polariseur* avec une *plaque à deux rotations* contraires pour le pointage; 2° d'un prisme birefringent, *analyseur*, avec un *compensateur ;* le compensateur sert à interposer sur le trajet de la lumière polarisée l'épaisseur de quartz nécessaire pour compenser l'action rotatoire de la substance essayée. Cet appareil est celui qui fait voir le phénomène de la manière la plus éclatante ; il est en outre extrêmement précieux quand on opère avec de la lumière faible ou faiblement polarisée : la plaque à deux rotations permet de déterminer dans ce cas le plan de polarisation avec une précision qu'on serait loin d'atteindre sans ce moyen. Nous ne comprenons pas que M. Pouillet, qui avait en main l'appareil de M. Soleil, au lieu de mesurer directement la rotation par le retour à l'identité de teintes dans la plaque à deux rotations ; ait fait usage du retour à la teinte de passage qui est appréciée avec beaucoup moins d'exactitude, à un demi-degré tout au plus.

Les électro-aimants employés par M. Pouillet pouvaient porter jusqu'à 800 kilogrammes. Dans ses expériences, le rayon de lumière

Digitized by Google

était toujours horizontal et allait du sud au nord ; l'électro-aimant était horizontal, c'est-à-dire que le plan de ses deux branches était horizontal et précisément à la hauteur du rayon de lumière : De plus, le plan vertical formé par les extrémités de deux branches, ou par les pôles de l'électro-aimant, était parallèle au rayon et pouvait s'en approcher plus ou moins : les substances essayées, taillées en parallélépipèdes étaient placées suivant la longueur sur le trajet du rayon, et on en approchait ou on en éloignait parallèlement le plan de deux faces extrêmes de l'électro-aimant. Voici les observations faites par M. Pouillet : 1° si au lieu de mettre l'électro-aimant en contact avec le parallélépipède de flint, on l'en écarte parallèlement, l'action diminue, mais elle diminue faiblement à mesure que la distance augmente ; si bien, qu'à la distance de dix centimètres, elle est encore une portion considérable de ce qu'elle était au contact même ; 2° si l'électro-aimant étant remis au contact on fait glisser la pièce de flint dans la direction du rayon de lumière, pour la soumettre à l'action d'un seul des pôles de l'aimant, il arrive un moment où l'action est tout-à-fait nulle : si l'on continue ensuite de le faire glisser dans le même sens, en l'écartant de plus en plus de la position primitive, jusqu'à le mettre en dehors du pôle auquel elle est soumise, l'action commence à renaître, mais alors elle est contraire à ce qu'elle était d'abord.

Il en résulte 1° que si l'on considère l'action inconnue de l'aimant sur le flint comme se produisant par des attractions et des répulsions, l'effet est nul quand les résultats de ces forces attractives et répulsives est perpendiculaire à la direction du rayon polarisé, et qu'il est au maximum, au contraire, quand cette résultante est parallèle au rayon ; 2° qu'en opérant de cette sorte, il faut bien se garder de donner aux parties soumises à l'électro-aimant une longueur plus grande que la distance des axes des deux branches ; car les portions qui dépassent les axes recevront des modifications pareilles entre elles, et opposées à celle que recevrait la portion centrale : il est même présumable que la compensation se pourrait faire exactement, en sorte qu'avec une pièce de contact qui déborderait la largeur de l'aimant, l'action pourrait être tout-à-fait nulle ; 3° enfin, que pour obtenir le plus grand effet on peut présenter à la pièce de flint deux électro-aimants opposés l'un à l'autre, de telle sorte que les pôles de même nom se regardent. M. Pouillet a vérifié directement ce dernier résultat, et c'est

Digitized by Google

même par le concours de deux électro-aimants ainsi opposés qu'il a obtenu le maximum d'effet égal à celui qui serait produit par une plaque de quartz de quatre dixièmes de millimètres d'épaisseur. Il a soumis aussi à l'expérience, divers autres corps transparents, solides ou fluides qui lui ont présenté, quoique avec une moindre intensité, les mêmes phénomènes que le flint-glass.

M. Edmond Becquerel a pu opérer avec un appareil énorme ; son électro-aimant était formé d'une barre de fer doux cylindrique d'un mètre de longueur, et de 11 à 12 centimètres de diamètre, courbé en fer à cheval, et pesant 63 kilogrammes. Les deux branches étaient écartées à l'intérieur de 14 centimètres : on les avait entourées de deux fils de cuivre de 910 mètres de longueur, et de deux millimètres de diamètre, de sorte que le courant pouvait passer ou bien dans un seul fil de 1820 mètres de diamètres ou dans deux fils de 910 mètres. Sur chaque branche de fer à cheval on plaçait une masse de fer doux parallélépipédique de même largeur que le diamètre du fer, de 15 centimètres de longueur, et de 5 centimètres de hauteur ; ces masses de fer sont percées à la partie centrale, dans toute leur longueur, d'une ouverture cylindrique de deux centimètres de diamètre, et on les dispose de façon que ces deux ouvertures et celle de la chambre obscure soient dans le prolongement l'une de l'autre. Les masses de fer doux peuvent s'approcher ou s'éloigner l'une de l'autre sans que les ouvertures cessent de se correspondre, et ce mouvement permet d'approcher plus ou moins les pôles contraires qui, par induction, se sont développés sur les faces en regard ; on peut aussi faire varier leur distance depuis 0 jusqu'à 4 centimètres. Les substances sur lesquelles on veut agir sont placées entre ces morceaux de fer, de sorte que les pôles de ces derniers agissent normalement ; l'axe magnétique se trouve être la direction du rayon lumineux : on observe les phénomènes à travers les ouvertures longitudinales des fers doux ; grâce à cette disposition on a pu opérer sur des plaques transparentes de quelques millimètres d'épaisseur. Pour observer la rotation, M. Edmond Becquerel se servait simplement de deux prismes de Nichol ou de prismes bi-réfringents ; il opérait avec de la lumière blanche, laquelle, quand le courant passait prenait une teinte bleue blanchâtre : quand on tournait le prisme oculaire pour diminuer l'intensité de l'image, elle paraissait bleue

Digitized by Google

avant le zéro, et rouge après, quel que fût le sens de la rotation : l'impression qu'on ressentait était la même que si l'on avait placé sur la route du rayon polarisé une plaque de quartz perpendiculaire à l'axe de ⅔ de millimètre d'épaisseur, ou un tube d'eau légèrement sucrée. En remplaçant le prisme de Nichol par un prisme bi-réfringent, puis tournant le prisme sur un cercle divisé, on voyait les images changer successivement de teinte dans les quatre quarts de la circonférence. Ces couleurs indiquent une action inégale du milieu influencé sur les différents rayons lumineux qui composent la lumière blanche ; il était important de savoir si la loi de ces inégalités était la même que celle découverte par M. Biot, dans les substances douées naturellement de la rotation, c'est-à-dire si l'angle de rotation allait en croissant avec la réfrangibilité suivant une proportion sensiblement réciproque au carré de la longueur des ondulations propres à chaque espèce de rayon : en comparant la rotation artificielle avec celle qui est produite par une longueur d'eau sucrée convenablement déterminée, M. E. Becquerel s'est assuré qu'en effet l'action résultant du magnétisme, est une rotation du plan de polarisation, et que pour les différents rayons simples, la loi est sensiblement la même que celle qui a été donnée par M. Biot pour le quartz, le sucre, etc. Il a trouvé aussi, comme MM. Faraday et Pouillet, que la rotation était constante, quelle que fût la direction du plan de polarisation du rayon.

M. Faraday avait dit que les corps cristallisés semblent se refuser à l'action rotatoire des rayons lumineux sous l'influence du magnétisme ; M. Becquerel est arrivé à un résultat contradictoire, Il a choisi deux plaques de quartz de rotations contraires et d'égale épaisseur, dont les effets de rotation naturelle se neutralisaient mutuellement, quand on les plaçait perpendiculairement au rayon polarisé : dès que l'électro-aimant a agi, l'effet de rotation s'est manifesté, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, suivant la direction de l'aimantation, mais avec moins d'intensité que dans le verre. M. Becquerel a encore opéré en accolant deux plaques de quartz de rotations contraires, et donnant toutes deux la teinte de passage : lorsque l'aimantation a eu lieu, il vit les teintes des deux plaques changer, l'une tourna au bleu, l'autre au rouge. En expérimentant sur un béril, substance, on le sait doublement réfringente. M. Becquerel affirme avoir constaté une rotation de cinq degrés, et quoique d'autres échantillons de béril, de chaux

Digitized by Google

carbonatée et de tourmaline n'eussent rien donné; il n'en conclut pas moins que le magnétisme influence TOUT AUSSI BIEN les cristaux bi-réfringents que les substances amorphes, seulement, les effets sont plus difficiles à observer. Nous verrons plus tard ce qu'il faut penser de cette assertion si tranchante, qui est en contradiction directe avec les expériences bien plus délicates de M. Faraday, qui aurait certainement aperçu la rotation si elle avait existée, puisque par une série de réflexions, il la rendait cinq fois plus forte, et suppléait éminemment ainsi à l'intensité moindre de son électro-aimant.

M. Böttger a fait en Allemagne, ce que MM. Pouillet et E. Becquerel ont fait en France. Ses nombreuses expériences le convainqui rent de la manièrela plus positive de cette vérité, regardée comme certaine par tous, que le magnétisme ne peut pas affecter directement le rayon lumineux, soit ordinaire, soit polarisé; mais que la modification obtenue par M. Faraday doit être considérée simplement comme une conséquence de certaines altérations produites momentanément dans le milieu traversé par la lumière. M. Böttger formule ainsi les phénomènes observés par lui : 1° lorsqu'on approche le pôle nord de celle des extrémités d'un corps transparent allongé par laquelle pénètre un rayon lumineux polarisé, le plan de polarisation tourne à droite, et lorsqu'on approche le pôle sud, la rotation se fait à gauche ; 2° la rotation aura lieu en sens opposé, si l'on approche les pôles correspondants de l'aimant de celle des extrémités par ou sort le rayon lumineux ; 3° que lorsqu'on approche un pôle quelconque du milieu de ce même corps, le plan de polarisation n'éprouve pas le plus petit mouvement de rotation. M. Böttger ajoute que tous les corps à réfraction simple ou double, acquierrent la polarisation rotatoire aussitot qu'ils sont introduits dans une hélice creuse, formée d'un très-grand nombre de tours d'un fil de cuivre à travers lequel on fait passer un fort courant électrique : le phénomène est beaucoup plus intense lorsqu'on fait usage de substances douées naturellement de la polarisation rotatoire, telles que le sucre, la térébenthine, et l'acide tartrique. Il faut nécessairement reconnaître que les expériences de M. Böttger sont très-imparfaites, et que l'on ne peut par conséquent, en tirer aucune conclusion absolue.

M. Bertin, agrégé préparateur de physique à l'école normale, a choisi les phénomènes que nous venons d'analyser pour sujet d'une

Digitized by Google

thèse remarquable, et qui a fait connaître quelques faits nouveaux; nous l'analyserons rapidement. M. Boetger avait prétendu que l'étendue de la rotation ne dépendait que de l'électro-aimant, et non de la pile : M. Bertin soutient avec raison, et prouve par des expériences certaines qu'il n'en peut pas être ainsi, et qu'au contraire, pour obtenir le maximum d'effet, il doit y avoir un certain rapport entre la dimension de l'électro-aimant et l'énergie de la pile qui l'anime; de telle sorte qu'un appareil très-puissant peut paraître très-faible quand il n'est pas mis en activité par une pile suffisante : c'est l'A B C de la science. Pour la même raison, il n'est pas non plus indifférent d'employer pour conducteur un fil fin ou un fil gros, de disposer la pile pour une grande intensité ou une grande tension : en général, une augmentation dans la surface appelle une augmentation proportionnelle dans la section du fil. Mais quelle que soit l'énergie des effets obtenus, qu'ils soient forts ou faibles, ils conservent la même relation dans toutes les substances, de sorte que l'ordre dans lequel on rangeait celles-ci sous le rapport de la rotation ne dépendait pas de l'appareil avec lequel il avait été déterminé.

Quand on veut obtenir une rotation considérable, le choix de la substance à essayer est une condition essentielle de succès. Si l'on opère avec des verres, il est utile qu'ils ne soient pas trempés; mais cela, heureusement, n'est pas tout-à-fait indispensable. Quand le verre est trempé, si on le place dans une position convenable entre les deux prismes de Nicol, on voit généralement apparaître une ou plusieurs lignes qui servent de repère. En visant sur une de ces lignes qu'on peut presque toujours isoler dans le champ de la vision, on la voit disparaître quand le courant passe, et on la retrouve en tournant l'analyseur.

Le sens de la rotation a été parfaitement reconnu par M. Faraday, et il est possible de le déterminer d'une manière simple. La rotation est de même sens que le courant qui produit l'aimantation, ou plus généralement elle est de même sens que le courant qui s'établirait dans un morceau de fer doux mis à la place de la substance essayée, sous l'action des pôles de l'électro-aimant. Il n'est peut-être pas sans intérêt de rapprocher cette loi générale de la théorie que Fresnel a donné de la polarisation rotatoire. Après avoir démontré qu'un rayon de lumière polarisée rectilignement peut se décomposer en deux autres

Digitized by Google

polarisés circulairement en sens contraire, il lui a suffi de supposer que le quartz a la propriété de laisser passer avec des vitesses inégales les rayons polarisés circulairement dans un sens ou dans l'autre, pour voir tous les phénomènes particuliers que présente le quartz découler de cette simple supposition. Admettons, de même, que la présence de l'électro-aimant ou d'un courant circulaire, ce qui est la même chose, communique aux corps transparents la propriété de laisser passer plus facilement le rayon polarisé circulairement, dont la molécule lumineuse tourne dans le même sens que le courant, tous les phénomènes observés se trouveront facilement expliqués. En effet, 1° si le verre est placé entre les deux pôles comme dans les appareils de M. Ruhmkorff, le sens du courant est évident; par exemple, en regardant le verre par la face qui touche le pôle austral, on voit qu'il est soumis à un courant tournant de gauche à droite, et la rotation observée est en effet dans ce sens : elle devient de sens contraire, quand on change les pôles, et par suite le sens du courant. 2° Si les deux branches de l'électro-aimant, au lieu d'être dans l'axe du verre, lui sont perpendiculaires, comme cela arrive dans les électro-aimants en fer à cheval, alors les courants sont obliques par rapport au verre, ou parallèles à son axe; mais l'effet doit toujours être le même, parce qu'un morceau de fer doux mis à la place du verre produirait les mêmes pôles dans les deux cas. Seulement l'intensité sera beaucoup moindre, et pour l'augmenter il faudra rapprocher les axes polaires de l'axe du verre; c'est l'effet obtenu avec les armatures de M. Becquerel. 3° Dans une bobine électro-magnétique traversée suivant son axe par le rayon, le courant est de même sens dans toute la longueur, par conséquent, l'effet observé doit être le même, soit qu'on place le verre en avant, soit qu'on le place en arrière, et si on regarde la bobine par le pôle austral, on doit observer une rotation à gauche; elle se ferait à droite, si l'on regardait la bobine par l'autre pôle, ou si, ce qui revient au même, on changeait le courant, sans changer la position de l'axe. 4° Dans un électro-aimant formé par deux bobines électro-magnétiques traversées suivant l'axe par le rayon, le sens de la rotation doit être le même quand le flint est entre les deux bobines que lorsqu'il est aux extrémités, de sorte que dans toute la longueur d'un système de bobines ainsi disposées, le sens de la rotation ne doit pas changer; c'est ce que l'expérience confirme. 5° Dans une bobine

Digitized by Google

perpendiculaire au rayon polarisé, comme, par exemple, dans une bobine verticale recevant sur sa base supérieure le verre traversé par la lumière, si on fait tourner celui-ci autour d'un pôle, en le mettant successivement sur tous les rayons de la bobine, on trouve une rotation de même sens en le regardant toujours par la même face, par exemple, par celle qui est tournée vers le pôle ; et cette rotation se fait à droite, si le pôle est austral, à gauche, s'il est boréal : la rotation change encore de sens quand on regarde le verre par la face opposée. Il résulte de là que si le prisme analyseur ne changeant pas, on regarde le verre placé successivement dans deux positions symétriques par rapport au pôle, on observera des rotations de sens contraires. Par conséquent, si en employant l'électro-aimant en fer à cheval, on regarde à travers le verre placé toujours au milieu, on doit observer, comme l'a vu M. Pouillet, des rotations de même sens en dehors des pôles, mais une rotation de sens contraire au milieu : les positions où l'on observe des changements de rotations sont séparées par d'autres où l'effet est nul, ce sont précisément les pôles. Mais on a vu que dans ce cas on avait une rotation en regardant dans l'axe du courant, ou de l'aimant supposé percé dans cette direction. 6° Si la ligne des pôles agit sur un rayon qui lui est oblique, l'effet produit, sans changer de sens, diminue d'intensité à mesure que l'obliquité augmente. Cette diminution est la même à droite qu'à gauche pour le même angle du rayon avec la ligne des pôles ; et l'effet est nul quand cet angle devient égal à 90 degrés, ou quand un rayon est perpendiculaire à la ligne des pôles, soit que le rayon soit parallèle, ou qu'il soit perpendiculaire au plan de l'électro-aimant.

Voulant s'assurer que dans l'électro-aimant de M. Becquerel, dont l'axe est plein, la rotation sur le pôle avait lieu de la même manière que dans les bobines creuses, M. Bertin a cherché à recevoir le rayon dans l'axe de la bobine, en s'aidant de la réflexion. Pour cela, il disposa sur le pôle l'appareil de polarisation de Noremberg : le miroir étamé horizontal était placé immédiatement sur la tranche de l'électro-aimant ; il recevait sur la glace oblique la lumière des nuées ; cette lumière est, comme on le sait, réfléchie une première fois sur la glace oblique, puis une seconde fois sur la glace horizontale qui la renvoie verticalement de bas en haut sur l'analyseur. Comme elle est très-imparfaitement polarisée, il serait difficile de déterminer

Digitized by Google

le plan de polarisation, et par conséquent la rotation qu'il pourrait éprouver ; mais la chose devient facile si l'on place sur le support à cristaux la plaque à deux rotations de M. Soleil. La position du plan de polarisation est alors déterminée par celle de l'analyseur qui donne l'égalité de teinte dans les deux moitiés de la plaque. Cela posé, mettons sur la glace horizontale le flint Faraday : tant que le courant ne passera pas, nous n'observerons aucun changement, si ce n'est celui qui provient d'une très-légère trempe du verre; mais aussitôt que le courant passera, nous verrons la plaque à rotation changer de teintes d'une manière extrêmement brillante, et pour rétablir l'identité, il faudra tourner l'analyseur de 10° si le flint a 18 millimètres d'épaisseur; de 21° s'il en a 48. Quant au sens de la rotation, il a lieu de droite à gauche si le pôle est austral, et de gauche à droite dans le cas contraire. Cette méthode permet d'observer l'action d'une bobine électro-magnétique parallèlement à son axe, dans une direction autre que cet axe, et les résultats que l'on obtient ainsi méritent d'être remarqués. Représentons-nous bien la tranche horizontale de l'électro-aimant : elle se compose de deux cercles égaux, correspondants aux deux branches, pas tout-à-fait tangentes, mais à 1 centimètre seulement de distance, et ayant environ 23 décimètres de diamètre. Chacun de ces cercles est lui-même formé par un cercle intérieur de 11 centimètres, qui est la section du noyau en fer, entouré d'un anneau en cuivre de 6 centimètres de largeur, appartenant à la bobine proprement dite. Imaginons que nous promenons le flint sur la ligne des centres, pendant que l'électro-aimant est en activité, voici ce que nous observerons : Au milieu même, à égale distance des deux centres, la rotation sera nulle ; elle augmentera jusqu'au contact du fer où elle sera de 9° ; puis tout à côté, sur le noyau en fer, elle montera subitement à 21°. Elle restera à peu près constante dans toute l'étendue de ce cercle, si ce n'est qu'au centre, elle sera un peu plus petite ; puis, au delà de ce cercle, elle décroîtra, mais moins rapidement qu'elle n'a crû d'abord, étant de 13° à la partie intérieure de l'anneau de cuivre, de 7° à la circonférence, de 3° à une distance d'un centimètre, qui correspond à la position initiale du milieu, et sera encore sensible à une distance de plus d'un centimètre. De plus, dans tout le trajet, la rotation n'aura pas changé de sens, elle aura toujours eu lieu de droite à gauche si le pôle était austral, et de gauche à droite

Digitized by Google

s'il était boréal. Ces phénomènes présentent de l'intérêt, si on les rapproche des phénomènes directement opposés que nous avons observés dans la direction des pôles; de telle sorte que pour une même position du flint, la rotation peut être droite ou gauche, nulle ou très-intense, suivant qu'on la regarde parallèlement ou perpendiculairement au courant.

Ce qui frappe tout d'abord quand on emploie l'appareil de Noremberg, comme nous venons de le dire, c'est la grande intensité de l'action qu'on observe sur ce pôle : elle tient à deux causes. Il faut en attribuer une partie à ce que le courant agit dans la direction même du flint, au lieu de lui être oblique; mais cela tient surtout à la double réflexion du rayon, qui est ainsi forcé de traverser deux fois la substance employée. A travers le quartz, ce double passage aurait pour effet de faire disparaître son pouvoir rotatoire en produisant deux rotations égales et de sens contraire, parce que la rotation du quartz est indépendante du sens dans lequel on le regarde : mais il n'en est pas de même du flint magnétisé ; il est clair, en effet, que dans ce double passage de la lumière à travers son épaisseur, le courant agit pour produire deux rotations de même sens, et que par suite l'effet doit être doublé. Pour s'en assurer, M. Bertin a fait deux expériences consécutives avec une même bobine percée; la première, suivant la méthode ordinaire, en regardant directement à travers le flint; et la seconde, en employant l'appareil de Noremberg; la rotation a toujours été deux fois plus grande dans le second cas que dans le premier. On retrouve ainsi une particularité fondamentale observée d'abord par M. Faraday, et qui, jointe au fait du changement de la rotation avec le sens suivant lequel on la regarde, établit entre le flint magnétisé et le quartz une différence capitale. La dispersion des plans de polarisation des différentes couleurs du spectre paraît, d'ailleurs, être la même dans les deux substances. Voici comment M. Bertin s'en est assuré : le flint étant placé entre les deux armatures de l'électro-aimant, dans les conditions les plus favorables pour avoir une grande rotation, il a compensé cette rotation par l'effet contraire d'une lame de quartz d'épaisseur convenable, condition très-facile à obtenir avec le compensateur de M. Soleil. Le système était alors parfaitement neutre, et il devait rester tel dans toutes les positions de l'analyseur, si le quartz et le flint agissaient de la même manière sur la lumière :

Digitized by Google

c'est, en effet, ce qui a été observé dans tous les flints essayés.

Si le sens de la rotation dépend du courant et non de la nature des substances essayées, c'est le contraire pour l'intensité : elle est la même à droite qu'à gauche ; mais elle varie notablement avec la nature du corps. Dans les liquides les différences sont moins sensibles, et même, suivant M. Boetger, elles seraient nulles. C'est probablement ce qui a fait dire à M. Faraday que dans les dissolutions la substance rotative était l'eau et non l'autre substance. Cette opinion n'est pas fondée, car les liquides les plus énergiques sont précisément les liquides anhydres, et parmi les corps dissous, il en est qui augmentent le pouvoir rotatoire de l'eau, et d'autres, au contraire, qui le diminuent; et parmi ces derniers, il faut ranger les métaux magnétiques. D'ailleurs, en augmentant dans une même dissolution la proportion de l'eau, on voit peu à peu le pouvoir rotatoire se rapprocher de celui de ce liquide pur, preuve évidente de l'influence du corps dissous : les dissolutions alcoholiques conduisent au même résultat.

M. Boetger avait trouvé que tous les liquides doués de propriétés rotatoires naturelles, comme le sucre, l'essence de térébenthine, l'acide tartrique, etc., recevaient de l'électro-aimant une action égale, toujours supérieure à celle des autres liquides : les expériences de M. Bertin sont loin de confirmer ces résultats.

Dans une même substance la rotation magnétique varie d'intensité avec l'épaisseur, mais la loi qui régit cette variation paraît être très-compliquée. D'abord, il est clair que si nous considérons l'action d'un seul pôle sur une substance de longueur indéfinie, cette action, variable avec la distance, ira en décroissant de la première couche à la seconde, de la seconde à la troisième, jusqu'à une certaine distance, à partir de laquelle elle sera nulle, de sorte que les couches plus éloignées ne recevront plus l'action du magnétisme. Les actions sur toutes les couches s'ajoutant, on voit que si on soumet à l'influence d'un seul pôle des épaisseurs croissantes d'un même corps, la rotation augmentera avec l'épaisseur jusqu'à une certaine limite, à partir de laquelle elle restera constante; une augmentation d'épaisseur n'apporte que des couches qui ne seront plus influencées. Il est clair encore que si la substance est soumise à l'action au contact de deux pôles égaux de force bien constante, les effets ne feront que se doubler, et que par conséquent la loi sera encore la même.

Digitized by Google

Mais en interposant entre les pôles des épaisseurs de plus en plus grandes, on est forcé de les éloigner, et cet éloignement diminue un peu leur intensité en diminuant l'influence qu'ils exercent l'un sur l'autre, influence qu'il est très facile de constater. Alors il peut se présenter trois cas : ou bien cette diminution d'intensité compensera l'effet produit par l'augmentation d'épaisseur, ou bien elle aura une influence plus faible, ou bien enfin elle sera prépondérante. Dans le premier cas, la rotation sera indépendante de l'épaisseur, jusqu'à une certaine limite, à partir de laquelle elle restera constante ; et enfin, dans la troisième hypothèse, elle atteindrait un maximum à partir duquel elle décroîtrait, mais sans pouvoir revenir à zéro, les deux pôles produisant toujours chacun séparément des actions qui s'ajoutent nécessairement, de telle sorte que la limite de la rotation serait le double de l'effet produit par un seul pôle.

C'est avec des pôles fixes qu'il faut chercher la loi des épaisseurs, en interposant dans le milieu de leur distance des longueurs de plus en plus grandes d'un même corps. On voit, dans ce cas, que la rotation augmentera d'abord lentement, puis avec rapidité, mais d'une manière continue, jusqu'à ce que l'épaisseur soit égale à la distance des pôles. De plus, si ces pôles sont assez éloignés des diverses couches du corps, pour que les variations de distances de celles-ci ne produisent pas de variations sensibles dans les rotations qu'elles produisent, l'action sera égale sur toutes, et la rotation observée sera proportionnelle à l'épaisseur du corps. C'est, en effet, la loi indiquée par M. Faraday. La loi des variations de la rotation avec la distance n'est pas plus connue que la loi des épaisseurs. Ce qu'on peut dire, c'est que la rotation est maximum au contact même des pôles, et qu'à partir de ce point elle diminue, soit qu'on éloigne le corps, soit qu'on l'enfonce dans l'intérieur de l'électro-aimant. Quand le flint fut enfoncé à peu près à moitié dans l'ouverture d'une grosse bobine, la rotation diminua, absolument comme si la partie extérieure était seule active. Elle alla en diminuant à mesure que le prisme s'enfonçait de plus en plus ; quand celui-ci fut tout-à-fait plongé, la rotation disparut pour ne reparaître que lorsque son extrémité sortit par l'autre bout. Il semblerait donc que la rotation est nulle dans l'intérieur des bobines, contradictoirement aux faits observés par MM. Fa-

Digitized by Google

raday et Boetger. Le résultat négatif obtenu par M. Bertin tient certainement à la faiblesse de ses bobines.

L'action de l'électro-aimant sur chacune des couches du corps, soumis à son influence, pourrait bien ne pas dépendre uniquement de la distance de cette couche : elle pourrait aussi varier avec le nombre des couches traversées précédemment, offrant ainsi des phénomènes analogues à ceux que présente la transmission de la chaleur. M. Bertin a fait d'après les conseils de M. Pouillet quelques recherches, dans le but de savoir s'il en est ainsi. Il observait la rotation de deux corps isolés quelconques, et d'un système formé de ces deux corps placés autant que possible dans la même position : la rotation dans ce système a toujours paru être la somme de celles des deux corps séparés.

M. Bertin encore, avec l'appareil à quatre bobines de M. Pouillet, a fait une expérience curieuse et nouvelle. Les quatre bobines étant actives, les pôles contraires en regard à environ un centimètre et demi de distance, si on interpose entre deux d'entre elles une petite cuve pleine de sulfure de carbone, on obtient une rotation d'environ 2 degrés : une seconde cuve placée dans un autre intervalle donnerait une rotation à peu près égale, qui s'ajouterait à la première, de sorte qu'avec un nombre suffisant de bobines, en profitant de tous les intervalles, on peut multiplier indéfiniment l'action d'une substance, et, par conséquent, rendre cette action visible, quelque faible qu'elle soit. Avec cinq cuves de sulfure de carbone placées dans les cinq intervalles on obtenait une rotation de 8 degrés ; si ces mêmes cinq cuves étaient en contact avec deux bobines doubles, on n'obtenait que 4 degrés de déviation.

M. Faraday, qui avait observé la rotation magnétique dans le sel gemme, l'alun, le spath fluor, tous cristaux monoréfringents, n'avait pas pu la produire dans les cristaux biréfringents, tels que le quartz, le spath d'Irlande, la barytine, le gypse et le carbonate de soude. D'autre part, M. E. Becquerel l'avait constatée pour le quartz et quelques échantillons de Béryl et de Tourmaline. Ces expériences étant mises en doute par M. Faraday, M. Becquerel a prié M. Bertin de les répéter sur le quartz, et celui-ci s'est empressé de se rendre à son désir. Une plaque de quartz d'un centimètre ayant été placée entre les deux armatures de l'électro-aimant, excité par une pile de quatre-

Digitized by Google

vingts éléments, il lui fut impossible d'observer le moindre changement de rotation quand le courant passait. Plusieurs autres plaques et même un long canon de quartz de près d'un décimètre donnèrent le même résultat négatif. Mais sur le compensateur de M. Soleil, et sur un ensemble de deux quartz compensés, la rotation fut évidente. M. Bertin répéta l'expérience un grand nombre de fois, et toujours avec le même succès : pour avoir plus de sensibilité, il recevait la lumière à travers la plaque à deux rotations.

La rotation électro-magnétique du quartz s'observe également très-bien lorsque, au lieu de compenser son pouvoir rotatoire naturel par celui d'un quartz inverse, on le compense par une réflexion dans l'intérieur du cristal. Ainsi, en opérant sur le quartz avec l'appareil de Noremberg, et en mettant le cristal sur le miroir horizontal de l'appareil, et celui-ci sur le pôle de l'électro-aimant, disposition qui fait disparaître la rotation propre du quartz, l'influence qu'il reçoit du magnétisme devient évidente, elle est moins sensible sur des quartz donnant le jaune, ou qui n'ont que deux millimètres d'épaisseur.

M. Wartman remplaçant les deux prismes de Nicol par deux piles de mica, et le flint interposé par le sel gemme, recevait sur une pile thermo-électrique communiquant avec un galvanomètre les rayons émanés d'une lampe qui avait traversé tout ce système. Les piles de mica étant croisées, le galvanomètre indiquait une certaine déviation quand la pile recevait la chaleur de la lampe; puis il se mettait en mouvement dès qu'on faisait passer le courant dans l'électro-aimant, et s'arrêtait dans une position éloignée de la précédente de 4 ou 5 degrés. Cette déviation provient-elle d'une rotation du plan de polarisation de la chaleur, ou bien faut-il l'attribuer à une action des pôles sur le galvanomètre, ou au rayonnement contre la pile de l'électro-aimant échauffé par le courant? M. Wartman avait parfaitement prévu ces objections, et il a cherché à se mettre à l'abri de toutes ces causes d'erreurs; il cite aussi M. Ruhmkorff comme ayant répété avec succès ces expériences avec deux prismes de Nicol et un prisme de flint.

M. Bertin n'a pu parvenir à les reproduire d'aucune manière, même avec l'aide de M. Ruhmkorff : le galvanomètre étant placé à une distance de l'électro-aimant suffisante pour qu'il n'en fût pas

Digitized by Google

influencé, et communiquant avec la pile thermo-électrique par un fil très gros qui transmettait énergiquement le courant de celle-ci : le rayonnement direct de l'électro-aimant sur la pile étant d'ailleurs évité par l'interposition d'écrans en bois, il a été impossible d'observer dans le galvanomètre aucune déviation permanente, produite par le passage du courant dans l'électro-aimant : l'action observée par M. Wartman est donc quelque peu douteuse.

Pour terminer l'exposition complète des recherches qui ont eu pour objet la brillante découverte de M. Faraday, nous ajouterons quelques mots sur les appareils de M. Ruhmkorff et les expériences de M. Mathiessen.

Dans un rapport étendu présenté à l'Académie, et dont les conclusions ont été adoptées à l'unanimité, M. Biot déclare que les appareils présentés et construits par M. Ruhmkorff, pour faciliter l'exhibition des phénomènes optiques produits par les corps transparents, lorsqu'ils sont placés entre les pôles contraires d'aimants de grande puissance, sont très appropriés au but que l'artiste a voulu atteindre. Voici les dispositions générales de l'appareil usuel : le corps de l'instrument est formé par une barre de fer doux ayant en épaisseur 1, en longueur 22 centimètres. Elle est repliée en équerre à ses deux extrémités auxquelles s'appliquent perpendiculairement, par un fort serrage, les bases de deux cylindres de même métal, dirigés en regard l'un de l'autre, suivant un même axe rectiligne. Chacun d'eux a 3 centimètres de diamètre et 9 de longueur, en sorte qu'il reste un petit intervalle entre les bouts par lesquels ils se rapprochent. Un trou cylindrique dont le diamètre est de 1 centimètre est percé dans leur axe commun, et se prolonge à travers les branches de l'équerre métallique auxquelles ils sont fixés ; ce qui laisse passer librement la lumière dans cette direction. Ces cylindres sont destinés à devenir la partie spécialement active de l'électro-aimant. Pour cela des fils de cuivre recouverts de soie, ayant 2 millimètres de diamètre et 100 mètres de longueur, sont enroulés autour de chacun d'eux en spires de même sens : un des bouts, l'intérieur, soudé à leur surface ; l'autre, extérieur aux spires, restant libre. Lorsque ces bouts libres sont mis en communication, par un contact intime, avec les pôles dissemblables d'une pile voltaïque, la décharge se transmet d'abord à travers toute la longueur de chaque fil ; de là elle passe au cylindre

Digitized by Google

où ce fil aboutit, et l'arc de communication se complète par la substance continue de la barre métallique qui porte les deux cylindres. Les substances solides, disposées en plaques, les liquides contenus dans des anneaux formés par des glaces minces, se placent dans les montures circulaires, ayant une queue cylindrique qu'on insère dans une ouverture de même diamètre, percée au milieu de l'intervalle des cylindres. Deux prismes de Nicol sont ajustés extérieurement aux deux bouts des cylindres dans des montures métalliques cintrées sur leur axe, et l'on peut les tourner pour éteindre par leur croisement la lumière d'une lampe placée sur leur prolongement, et que le prisme antérieur polarise en un sens fixe. Un commutateur permet d'échanger à volonté le sens du courant, et la nature des pôles. Avec une pile de Münke, de cinquante éléments, d'une force très-ordinaire, mais à tension énergique, les effets optiques opérés par les plaques, soit solides, soit liquides, ont été très-distinctement visibles, quoique trop faibles pour admettre une mesure angulaire exacte des déviations. M. Ruhmkorff a réservé l'addition d'un cercle divisé pour un appareil plus grand destiné à des recherches précises, susceptible d'une grande énergie, et muni de toutes les pièces nécessaires pour modifier les forces, varier les distances et conserver les effets. Un des plus précieux avantages dont jouissent ces appareils consiste dans la proximité donnée aux pôles de noms contraires, par lesquels les cylindres aimantés se regardent. Ils ont reçu l'approbation de l'Académie des Sciences, sur un rapport très-favorable de M. Biot.

Analysons enfin deux notes précieuses, quoiqu'incorrectes, publiées par M. Mathiessen d'Altona. Ce physicien amateur a présenté à l'Académie deux cent-vingt espèces de verre, qui toutes, taillées et placées entre les deux pôles d'un électro-aimant, font tourner le plan de polarisation du rayon; vingt-trois de ces verres produisent une rotation plus grande que le verre pesant de Faraday; quelques-uns, les silicates de plomb purs, donnent un effet plus que double du borosilicate de plomb, la plus active des substances connues jusqu'ici; trois seulement de ces verres résistent aux influences atmosphériques, tous les autres comme le verre pesant de Faraday se ternissent rapidement à l'air. Les silicates, et peut-être les chlorures, sont au premier rang sous le rapport de la sensibilité; viennent ensuite dans un ordre décroissant les aluminates, les silico-aluminates, les bismu-

Digitized by Google

thites, les arsénites, les borates, les sulfates, les boro-silicates et les phosphates : les fluorures sont sans action. L'oxyde de plomb est la base qui agit le plus énergiquement. Viennent ensuite le bismuth, l'antimoine, le zinc, le mercure et l'argent : la rotation dans les verres à bases magnétiques est manifeste. La chaux, la soude, la potasse diminuent le pouvoir rotatoire des verres ; il en est de même de la fumée, lorsqu'elle teint en jaune ou brun la pâte du verre. La coloration par l'or, le cuivre, l'urane, le chrome, le manganèse, ne semble altérer en aucune façon le pouvoir rotatoire. L'acide phosphorique fondu, le silex et ses variétés ne décèlent aucune action du fluide magnétique.

Quand les verres contiennent, dit M. Mathiessen, une base magnétique, du fer, du cobalt, ou du Nickel, la rotation augmente graduellement avec l'épaisseur du verre, au moins jusqu'à l'épaisseur de quatre-vingt-trois millimètres, tandis que les verres sans métal magnétique, et en même temps sans acide borique, sans soude et sans potasse, ont leur maximum d'effet à une épaisseur beaucoup moindre qui varie entre quatorze et vingt-six millimètres. Un des silicates de plomb, influencé par un électro-aimant d'une force déterminée, donnait vingt degrés de rotation à l'épaisseur de quinze millimètres, et aucune à quarante millimètres ; dans les mêmes circonstances, le verre Faraday, donne quatre degrés à quinze millimètres, et neuf degrés à quarante millimètres.

Sur une centaine de cristaux cubiques, examinés tour-à-tour avec le plus grand soin, un seul, le sel gemme, s'est montré sensible au magnétisme, la rotation qu'il produit est considérable et presque égale à celle du verre de Faraday; cette influence de la cristallisation sur le pouvoir rotatoire des solides diaphanes est vraiment extraordinaire.

Si l'on met la substance diamagnétique en contact avec le pôle, on verra, comme nous l'avons déjà dit, que la rotation augmente d'abord avec l'épaisseur et atteint son maximum, pour décroître ensuite si l'épaisseur continue d'augmenter. En fixant les pôles à une certaine distance de la substance, à 83 millimètres, par exemple, et plaçant à partir de cette distance la même succession d'épaisseur de verre, M. Mathiessen a vu que la rotation diminue à partir d'un certain éloignement, et que cette diminution produite par la distance est

Digitized by Google

plus rapide que celle due à la décroissance de l'épaisseur des verres. Suivant lui encore, le maximum d'effet n'aurait pas lieu au contact absolu, mais à une certaine distance ; c'est difficile à croire.

Six plaques d'un même verre superposées donnent une rotation un peu moindre qu'une plaque unique de même épaisseur; le nombre des surfaces n'a donc aucune influence sur l'étendue de la rotation : il ne pouvait en être autrement.

Quelle qu'ait été la force magnétique employée, l'action du courant ou de l'aimant ne produisait aucun changement sensible dans la position des raies du spectre.

M. Mathiessen affirme que la différence de rotation entre les diverses couleurs prismatiques est beaucoup plus grande dans le cristal de roche que dans les verres les plus actifs, et que dans ces derniers toutes les couleurs tournent d'une quantité presque égale. M. Becquerel affirme le contraire. En analysant les spectres produits par les lumières bleues qui accompagnent la rotation soit par le cristal de roche, soit par le verre sous l'influence de l'aimant, il y a vu deux bandes noires; mais celle qui correspond au cristal de roche serait plus étroite et mieux tranchée. Il croit encore que les verres sous l'influence de l'aimant acquièrent la double réfraction. L'influence magnétique, suivant lui, s'exercerait moins sur les molécules composées que sur les atomes des corps simples, auxquels le verre doit ses propriétés rotatrices: car un atome de plomb, par exemple, ou de fer ou de potassium, communique son pouvoir actif propre à tous les composés dans lesquels il entre sous une forme quelconque. Des combinaisons diverses changent presque toutes les propriétés des corps simples, mais non leur pouvoir rotatoire magnétique, pourvu, bien entendu, que ces composés restent solides et transparents. La propriété rotatrice, au contraire, est plus ou moins modifiée ou même contrebalancée par l'intervention d'autres atomes simples, ayant des propriétés différentes ou contraires : la forme de la cristallisation aussi apporte des modifications importantes, elle peut masquer le pouvoir rotatoire, mais jamais elle ne l'a rendu inverse.

Les notes de M. Mathiessen sont rédigées de manière à inspirer peu de confiance : l'auteur reste par trop étranger à la forme sévère et correcte d'une rédaction vraiment scientifique; il ne comprend

Digitized by Google

pas assez la signification des termes consacrés, et donne aux propositions qu'il énonce une portée qu'elles ne peuvent pas avoir. Il a du moins l'avantage d'accumuler les faits et les expériences; le discernement viendra plus tard, et les efforts de l'observateur infatigable porteront un jour leurs fruits.

M. Melloni, dans deux articles insérés aux comptes-rendus des séances de l'académie royale de Naples, a exposé avec lucidité et commenté avec intelligence les recherches de l'incomparable physicien anglais, sans y rien ajouter de nouveau. Il propose cependant une expérience nouvelle qu'il importe d'exécuter. Nous avons vu que les cristaux, doués de la double réfraction, n'acquièrent pas sous l'influence du magnétisme la faculté de faire tourner le plan de polarisation du rayon lumineux : cela posé, concevons qu'on comprime par le procédé de Fresnel une série de prismes formés, par exemple, du verre pesant de M. Faraday, pendant que sous l'action des pôles de l'électro-aimant ils exercent le pouvoir rotatoire : la compression fera naître la double réfraction. Mais en même temps que la double réfraction se produira, verra-t-on cesser la déviation du rayon? on devrait le croire d'après les données de M. Faraday; mais il y aurait de la témérité à l'affirmer avant l'observation. M. Bertin nous a promis de faire cette curieuse expérience. En attendant, il a bien voulu nous communiquer la note suivante, qui est un véritable progrès, puisqu'elle formule nettement les lois de la rotation en tant qu'elle dépend de l'épaisseur et de la distance au pôle de la plaque diamagnétique.

I. *Action d'un seul pôle.* Quand la distance du flint magnétisé au pôle croît en progression arithmétique, la rotation décroît en progression géométrique : c'est-à-dire qu'en désignant par A et z des coefficients constants, par x la distance de la plaque au pôle, par y la rotation, on aura :

$$(1) \qquad y = A\, z^x$$

Il résulte de là que dans un flint d'épaisseur e, en contact avec le pôle, la rotation décroît d'une couche à l'autre en progression géométrique, et que par conséquent la rotation totale est la somme des termes d'une progression géométrique de raison connue, de sorte que

$$A = c\,\frac{1 - z^e}{1 - z}$$

Digitized by Google

D'où $$y = c\frac{1 - z^e}{1 - z} z^x$$

Dès lors, si y et y' sont les rotations produites par le même flint aux deux épaisseurs e et e', il est clair qu'on aura :

$$(2) \qquad \frac{y'}{y} = \frac{1 - z^{e'}}{1 - z^e}$$

II. *Action de deux pôles contraires, de ceux, par exemple, de l'appareil de Ruhmkorff.* Si les deux pôles sont à la distance d, le flint d'épaisseur e sera à une distance x du premier, et à une distance $d - e - x$, du second : on aura donc, en désignant par r l'action produite, ou la rotation :

$$r = c\frac{1 - z^e}{1 - z}(z^x + e^{d - e - x})$$

On en conclut que si r, r', r'', sont trois rotations correspondantes aux trois valeurs x, $x + a$, $x + 2a$, le rapport

$$(3) \qquad \frac{r + r''}{r'} = r^a + r^{-a}$$

sera un rapport constant. De plus, si r et r' sont les deux rotations produites par un même flint, sous les deux épaisseurs e et e', on a pour $x = 0$

$$(4) \qquad \frac{r'}{r} = \frac{1 - z^{e'}}{1 - z^e} \cdot \frac{1 + z^{d - e}}{1 + z^{d - e}}$$

Les nombreuses vérifications que M. Bertin a faites des formules 1, 2, 3, 4, l'autorisent à penser qu'il a trouvé réellement la loi du phénomène, et qu'elle est exprimée par la formule

$$r = c\frac{1 - z^e}{1 - z}(z^x + z^{d - e - x})$$

z est une constante qui ne dépend ni de l'intensité du magnétisme, ni de la nature du corps; elle est égale à 0,97587, en prenant pour unité le millimètre; elle est donc plus petite que l'unité; dès lors, si l'on suppose la distance d des deux pôles infinie, $z^{d - e - x}$ deviendra 0, et la formule générale réduite à

$$r = c\frac{1 - z^e}{1 - z} z^x$$

donnera, comme on a pu s'y attendre, la rotation qui correspond au cas d'un seul pôle.

Digitized by Google

La constante *c* dépend à la fois de l'intensité du magnétisme et de la nature des corps : mais les valeurs de *c* pour les différents corps conservent les mêmes rapports, quelle que soit l'intensité magnétique. Voilà pourquoi M. Bertin propose d'appeler *c* le coefficient de polarisation magnétique. On comprend comment on rapportera ces coefficients à l'un d'eux pris pour unité. Si, par exemple, on prend pour unité le coefficient de polarisation magnétique correspondant au flint de Faraday, on trouvera que le même coefficient pour les diverses substances soumises à l'expérience aura les valeurs données par le tableau suivant :

Flint Faraday	1,00.
Flint Guinant, de M. Ruhmkorff. .	0,87.
Flint Mathiessen.	0,83.
Flint du commerce	0,83.
Bichlorure d'étain.	0,77.
Sulfure de carbone.	0,74.
Protochlorure de phosphore. . .	0,51.
Chlorure de zinc dissout. . . .	0,55.
Chlorure de calcium dissout. . .	0,45.
Eau	0,25.
Alcohol ordinaire à 35°	0,18.

Dans un mémoire récemment publié, un savant Italien dont nos lecteurs connaîtront mieux bientôt les profondes théories, M. Mosotti, a écrit sur les phénomènes que nous venons d'analyser les lignes suivantes que nous transcrivons fidèlement malgré leur obscurité : « L'analogie... fait naître l'idée que les effets de rotation du plan de polarisation d'un rayon lumineux, récemment obtenus par Faraday, sont dus aussi à une altération de formes, dans les atmosphères éthérées des molécules des corps diaphanes. Comme dans ce cas, ce serait l'éther lui-même en vibration ou composant les rayons qui, sous l'action de l'aimant, acquerrait et perdrait tour à tour pendant l'expérience une distribution apte à produire la polarisation rotatoire, le terme de magnétisation d'un rayon de lumière ne serait pas impropre, comme quelques-uns le pensent, quoique cette magnétisation ne puisse avoir lieu que dans l'intérieur des corps pondérables et non dans le vide. L'altération des atmosphères doit être nécessairement suivie d'une légère altération

Digitized by Google

dans l'équilibre des molécules; mais cet effet serait secondaire dans la production des phénomènes lumineux.

Ainsi donc, puisque l'influence magnétique s'exerce très-probablement sur l'éther renfermé entre les atomes du corps diaphane, et que le rayon lumineux en tant que propagé dans ce corps, est le produit des vibrations de ce même éther, il est évident que le langage adopté par M. Faraday, loin d'avoir rien de fantasque et d'incorrect, comme nous le lui avons reproché légèrement, devient au contraire l'expression naturelle et rationnelle des faits. La note si courte de M. Mosotti a donc été pour nous et une illumination soudaine et l'instrument d'une véritable conversion. Nous comprenons mieux maintenant, et nous allons mieux expliquer le phénomène de la polarisation rotatoire, naturelle ou artificielle. Dans certains corps, par suite d'un mode spécial de groupement des molécules intégrantes, les particules éthérées distribuées entre ces molécules sont tellement disposées que le mouvement vibratoire qui constitue le rayon polarisé incident se modifie en se communiquant; le rayon transmis n'a plus le même plan de polarisation que le rayon primitif; tout se passe comme si le plan de poralisation du premier rayon avait tourné vers la droite ou vers la gauche : on conçoit d'ailleurs facilement que le sens et l'étendue de la rotation varient d'un milieu à l'autre, suivant la disposition particulière des molécules. Remarquons que dans ce phénomène il y a en présence deux éléments, l'un statique la disposition des particules éthérées, l'autre dynamyque la propagation du mouvement vibratoire lumineux. Si après avoir traversé une première fois le milieu, le rayon revient sur ses pas, avec son plan de polarisation dévié, comme il rencontre en sens contraire l'obstacle modificateur statique créé par la distribution anormale des particules éthérées, la seconde déviation du plan de polarisation se produira elle-même en sens opposé, et le rayon sera restauré ou ramené à sa condition primitive : c'est ce que prouve en effet l'expérience. Après avoir ainsi ramené à des termes très-simples le phénomène de la polarisation rotatoire naturelle, arrivons à la rotation produite par l'influence du magnétisme.

Cette fois, les particules éthérées se trouvaient naturellement distribuées et disposées d'une manière normale, et elles n'ont été amenées à cet état particulier qui détermine la rotation du plan de polarisation

Digitized by Google

que par l'influence du courant électrique ou de l'aimant, influence dont les effets se conçoivent sans peine, et n'est point elle-même un mystère. Dans la théorie que nous avons admise forcément, et que nous développerons ailleurs, les phénomènes de l'électricité et du magnétisme ont pour cause un état particulier de l'éther ; son transport ou sa circulation, s'il s'agit de l'électricité dynamique et des courants ; sa polarité ou sa tension dans un sens déterminé, s'il s'agit de l'électricité statique ou des aimants : or l'on admettra sans peine que cet état particulier puisse agir sur les particules éthérées que renferment les substances diamagnétiques, de manière à les rendre aptes à réagir à leur tour sur le mouvement éthéré qui constitue le rayon lumineux. Mais cette fois il y a en présence, si l'on peut s'exprimer ainsi, deux éléments dynamiques, le courant et la lumière propagée. Si, le rayon restant le même ou marchant toujours dans la même direction, on change le sens du courant, la rotation du plan de polarisation se fait en sens contraire ; elle passe de la droite à la gauche, et réciproquement. Si, après avoir traversé une première fois le milieu, le rayon revient sur ses pas, le courant lui-même change de sens ; par rapport à la nouvelle direction du rayon, et à cause de ce double changement, le sens de la rotation a dû rester le même, de sorte que, dans ce cas, les rotations produites à chaque passage s'ajouteront, au lieu de se compenser ou de se détruire, ainsi que les expériences de M. Faraday l'ont nettement démontré. Tout se trouve donc éclairci. On pourrait aussi expliquer pourquoi la rotation magnétique n'est pas communiquée aux cristaux doublement réfringents, ou à deux axes ; en remarquant qu'en raison de la distribution particulière de l'éther autour des deux axes, l'influence magnétique aurait pour effet de faire naître deux tendances contraires, égales ou à peu près égales, et qu'il en serait de ces milieux comme de l'améthyste, par exemple, formée de l'enchevêtrement de molécules cristallines dextrogyres et lévogyres, dont les actions se neutralisent de manière à ne plus laisser place à la rotation.

On peut enfin envisager les phénomènes de Faraday sous un point de vue de classification. Remarquons d'abord que certains phénomènes optiques peuvent être produits de deux manières, en ce sens qu'ils peuvent être ou un effet de molécules, ou un effet de masse. Ainsi il y a deux sortes de double réfraction, deux sortes de polari-

Digitized by Google

sation chromatique ; l'une naturelle et moléculaire, comme dans les cristaux de la nature ; l'autre, artificielle et de masse, si l'on peut s'exprimer ainsi, comme dans les prismes comprimés de Fresnel, ou les verres comprimés et trempés. Dans le premier cas, quand il s'agit d'un phénomène appartenant à la première classe, la double réfraction, les anneaux de polarisation chromatique, etc., se produisent en chaque point du cristal : dans le second cas, au contraire, la double réfraction a lieu dans un sens déterminé ; la figure chromatique se retrouve une seule fois dans l'ensemble du verre comprimé ou trempé, et varie essentiellement avec les contours de la masse soumise à l'expérience. On aurait pu peut-être prévoir *à priori*, que ce qui arrive à la double réfraction et à la polarisation chromatique devait s'étendre à la polarisation rotatoire, et que ce dernier phénomène devait à son tour se partager en deux genres, l'un moléculaire, comme dans le cristal de roche, l'essence de térébenthine, le sucre, etc. ; l'autre appartenant à la masse du corps diamagnétique, et communiqué seulement dans une direction donnée par l'action d'une influence extérieure. Le physicien qui aurait ainsi raisonné par analogie aurait entrevu les faits brillants dont la découverte a conquis à Faraday une nouvelle et si éclatante gloire.

Trompé d'abord par les apparences, nous pensâmes retrouver dans la double réfraction artificielle de Fresnel la particularité remarquable observée par Faraday pour la polarification rotatoire magnétique. Il nous semblait probable que la déviation des deux images, ordinaire et extraordinaire, croîtrait proportionnellement au nombre des passages, comme la rotation du plan de polarisation. M. Soleil voulut tenter sur-le-champ cette expérience : il adapta à la presse de Fresnel deux miroirs : l'aiguille placée devant les prismes produisait son image dans le miroir, celui-ci la renvoyait dans les prismes, et sur le second miroir, qui à son tour les réfléchissait vers l'œil à travers le milieu doublement réfringent par compression : on les observait alors, et l'on remarquait, en effet, avec surprise, que l'écart après les trois passages était triple de ce qu'il était d'abord. Nous crûmes naïvement que nos prévisions étaient vérifiées, quand surtout, en répétant la même expérience avec un rhombe de spath d'Islande, nous vîmes l'écart des images rester le même après trois traversées. Mais en opérant de la même manière avec un prisme de

Digitized by Google

cristal de roche doué naturellement de la double réfraction, la distance des images fut aussi triplée; et nous fûmes alors forcés de reconnaître que la multiplication de l'écart ne provenait pas de la nature de la double réfraction, mais bien du triple passage à travers les prismes, ou de trois déviations qui s'ajoutent successivement. Nous sommes aujourd'hui pleinement convaincu que, dans la double réfraction artificielle, pas plus que dans la double réfraction naturelle, l'écart des images ne peut pas être amplifié par des passages multipliés à travers le milieu : et nous répéterons, pour décharger notre conscience de notre téméraire critique du mémoire de M. Faraday, que la déviation du plan de polarisation proportionnelle au nombre des passages, ainsi que la persistance du sens de la déviation dans toutes les substances soumises à l'expérience, prouvent plus qu'on ne l'a peut-être cru, que l'influence magnétique s'exerce sur le mouvement éthéré lui-même, ou sur le rayon lumineux.

L'erreur que nous venons de rappeler aura eu du moins un effet heureux : grâce aux deux miroirs ajoutés par M. Soleil, la double réfraction de la presse de Fresnel, à peine sensible dans l'état ancien de l'appareil, sera désormais rendue évidente pour tous les yeux.

Nous avons dit, page 1049, que M. Bertin n'avait pas réussi à mettre en évidence la rotation du plan de polarisation de la chaleur sous l'influence magnétique; or MM. de la Provostaye et P. Desains ont tout récemment repris ces difficiles recherches, et le succès semble avoir couronné leurs efforts:

Ils ont apporté au procédé de M. Wartmann trois modifications principales : 1° ils emploient la chaleur solaire; 2° ils prennent pour appareils polariseurs deux prismes de spath achromatisés; 3° et, ceci leur paraît indispensable, au lieu de placer les sections principales à 90 degrés, ils les disposent de manière qu'elles fassent un angle d'à peu près 45 degrés.

L'emploi des spaths et de la lumière solaire permet de transporter les électro-aimants à une grande distance de la pile thermo-électrique: quant à la disposition des prismes, la loi de Malus montre tous les avantages qu'elle présente. En effet, prenons pour unité la déviation que produirait le rayon solaire transmis à travers les sections principales parallèles. La déviation, quand les prismes formeront un angle de 45 degrés, sera $\cos^2 45° = 1/2$. Si l'on vient à faire agir le cou-

Digitized by Google

rant, et qu'il produise une rotation du plan de polarisation égale à P, la déviation sera, suivant le sens courant, $\cos^2 (45° - P)$ ou $\cos^2 (45° + P)$, et l'on aura dès lors, pour la différence des effets observés, quand on fera passer le courant en sens contraire,

$$\cos^2 (45° - P) - \cos^2 (45° + P) = \sin 2 P.$$

En plaçant les sections principales à 90°, la différence des déviations serait seulement

$$\cos^2 (90° - P) - \cos^2 90° = \sin^2 P$$
$$\text{ou } \cos^2 (90° + P) - \cos^2 90° = \sin^2 P.$$

Or, $\sin^2 P$ est considérablement plus petit que $\sin 2 P$. Si, par exemple, on suppose $P = 8°$, $\sin 2 P$ est égal à plus de 14 fois $\sin^2 P$.

L'œil, il est vrai, apprécie bien le passage de l'obscurité à la lumière, et juge fort mal la différence d'éclat de deux images lumineuses. Il n'en est pas de même pour l'appareil thermoscopique. Il y a donc, quand il s'agit de la chaleur, un grand avantage à procéder comme on vient de l'indiquer.

Voici maintenant les détails d'expérience :

Le rayon solaire, réfléchi par un héliostat, traversait un premier prisme biréfringent achromatisé. Le faisceau extraordinaire était intercepté ; le faisceau ordinaire traversait l'électro-aimant de l'appareil de M. Rumkorf, et entre les pôles de l'électro-aimant un flint de 38 millimètres d'épaisseur. Il allait ensuite rencontrer, à 3 m. 50 environ, le second prisme de spath, se bifurquait de nouveau et donnait deux images, dont l'une pouvait être reçue sur la pile thermo-électrique placée à 4 mètres de l'électro-aimant. Le galvanomètre était encore un peu plus éloigné de cette force perturbatrice. On s'est assuré, par des expériences directes et souvent répétées, que l'établissement du courant ne donnait naissance à aucun phénomène d'induction, et que les électro-aimants n'avaient aucune action appréciable sur l'aiguille aimantée, laquelle, sous leur influence, restait au zéro dans une parfaite immobilité. Pour le comprendre, il ne faut pas oublier que les deux pôles contraires sont très-voisins et qu'ils agissent simultanément sur un système déjà fort éloigné et presque complétement astatique. On pourrait craindre que l'électro-aimant, sans action sur l'aiguille au zéro, n'agit sur l'aiguille déjà déplacée par l'action du rayonnement calorifique. Cela serait possible, en effet, si, dans sa première position, l'aiguille avait la même direction que la

Digitized by Google

ligne qui joint son centre à l'électro-aimant, et si, quand elle est déviée, elle faisait un angle notable avec cette direction. Dans les expériences des deux savants physiciens, c'est précisément la condition inverse qui se trouvait réalisée, de sorte que la composante de l'action magnétique diminuait de plus en plus pendant le mouvement de l'aiguille, et devenait sensiblement nulle quand elle atteignait son plus grand écart. Si donc cette composante n'avait aucune action dans le premier cas, à plus forte raison devait-il en être de même dans le second. C'est au moyen de deux viroles A et B qu'on pouvait faire passer le courant électrique, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, à travers les fils de l'électro-aimant. Nous désignerons les deux courants par les expressions abrégées : courant A, courant B.

Voici les déviations observées :

Expérience du 22 septembre.

On employait une pile de Muncke de 50 éléments à grandes surfaces, mais déjà usée.

Première série.

	Déviations.
Courant A.	21,0
Sans courant.	19,0
Courant A.	21,4
Sans courant.	18,6

Deuxième série.

On a ajouté de l'acide.

	Déviations.
Sans courant.	20,5
Sans courant.	20,6
Courant B.	18,6
Sans courant.	20,9
Courant A.	23,6
Courant B.	18,8
Courant A.	22,0
Courant B.	18,0
Sans courant.	19,9

Digitized by Google

Troisième série.

	Déviations.
Courant B.	17,4
Courant B.	17,1
Courant A.	19,5
Sans courant	18,3

Expérience du 29 septembre.

On emploie une pile de Bunsen de 30 éléments, bien nettoyés et amalgamés.

Première série.

	Déviations.
Sans courant	12,0
Courant A.	14,9
Courant B.	8,6
Sans courant	11,7
Courant B.	8,8
Sans courant	11,8

Deuxième série.

	Déviations.
Sans courant	18,4
Courant B.	14,9
Courant A.	21,7

Il est à remarquer qu'ici, si les sections principales des prismes étaient perpendiculaires, la déviation, d'abord nulle, atteindrait à peine une demi-division lorsqu'on ferait agir l'un des courants.

Enfin, pour écarter toute espèce d'objection, on a fait une troisième série d'expériences en enlevant le flint, et observant les déviations produites par le rayon solaire lorsqu'on faisait, comme précédemment, passer le courant électrique dans les fils de l'électro-aimant, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre.

	Déviations.
Courant A.	16,5
Courant B.	16,8
Courant A.	16,8

Comme cela devait être, les déviations sont égales, ce qui prouve

Digitized by Google

que le courant électrique et l'aimant changent les déviations en agissant sur le flint, et non en agissant sur l'aiguille du galvanomètre.

Les expériences que nous venons de rapporter établissent, nous le croyons avec les auteurs, d'une manière irréfragable, la rotation du plan de polarisation de la chaleur sous l'influence du magnétisme.

Nous nous sommes assez étendus, il nous semble, sur ces curieuses relations entre la lumière et les lignes de force magnétique ; nous avons assez exalté la grande découverte de M. Faraday.

M. Plücker de Bonn a été assez heureux pour ajouter à ces phénomènes, toute une famille nombreuse et brillante de faits entièrement inattendus : ses recherches doivent être placées au premier rang parmi les grandes découvertes dont la physique s'honore ; et son nom, désormais immortel, se place à côté de ceux des Huyghens, des Malus, des Wollaston, des Oersted, des Arago, des Ampère, des Faraday, etc.

Les pages que nous allons consacrer à ces brillants phénomènes, seront l'un des plus curieux et des plus importants chapitres de notre répertoire. Pour être sûr de ne pas errer dans ces routes non frayées, nous traduirons littéralement l'exposition que le célèbre professeur a fait lui-même de ses expériences, dans la thèse inaugurale qu'il a lue comme doyen de l'ordre des philosophes, le 3 août dernier, lors de la fête par laquelle on célébrait l'anniversaire de la naissance du roi Guillaume III, fondateur de l'université de Bonn.

D'UNE NOUVELLE ACTION MAGNÉTIQUE,

DANS SES RAPPORTS AVEC LA LUMIÈRE ET LES AXES OPTIQUES DES SUBSTANCES CRISTALLISÉES.

I. Ce fait extraordinaire que les fragments des corps organisés se dirigent tantôt magnétiquement, tantôt dia-magnétiquement, amena M. Plücker à rechercher si la direction des fibres de ces corps était de quelque importance dans la production de ce phénomène. Guidé alors par l'analogie, il se proposa le problème suivant : dans les corps cristallisés, la structure ou la juxtaposition dans un ordre régulier des petites parties, juxtaposition dont dépend

Digitized by Google

comme on sait, la situation des axes optiques, joue-t-elle un rôle particulier ?

Par une bonne fortune incroyable, M. Plücker essaya d'abord une plaque taillée de tourmaline, semblable à celles dont on se sert pour polariser la lumière, et dont l'axe optique était parallèle au plus long côté. Cette plaque, à cause du fer qu'elle contient, était magnétique, puisqu'elle était attirée de loin par les pôles de l'aimant. On la suspendit de trois manières, par un fil de cocon, entre les armatures de l'électro-aimant munies de pointes aigues. Le long côté était d'abord vertical, ce fut ensuite le plus petit; dans le troisième cas enfin, la tourmaline pouvait osciller librement dans le sens horizontal. Suspendue de la première manière, la tourmaline se comporta comme un corps magnétique: dans les deux derniers modes de suspension, au contraire, chose vraiment étonnante, la tourmaline se dirigea comme un corps dia-magnétique, c'est-à-dire de telle sorte que sa plus longue dimension cherchait et occupait la position équatoriale. Tout, dans ces deux cas se passait comme si l'axe de la tourmaline était repoussé; ce qui ne pouvait pas avoir lieu dans le premier mode de suspension, parce que l'axe optique était parallèle à l'axe de suspension, et que tout, par conséquent était symétrique autour de lui : de plus, ce qui n'est point à négliger, cette répulsion à cause de la forme de la plaque, ne devait apparaître que lorsqu'il lui était possible de vaincre l'attraction magnétique tendant à la diriger en sens contraire.

M. Plücker substitua ensuite à cette plaque des prismes ou cristaux de tourmaline, recueillis en divers lieux, opaques ou transparents. Tous, à l'exception des cristaux qui étaient à la fois limpides et transparents, étaient magnétiques, et suspendus librement entre les pôles, ils se dirigeaient de telle sorte que les axes des prismes, coïncidant avec la plus grande dimension, coïncidaient aussi avec la ligne qui joint les pôles.

Mais, quand on éloignait suffisamment les pôles l'un de l'autre, ou bien quand on élevait le cristal au-dessus des pôles en raccourcissant le fil de cocon, le cristal tournait aussitôt, tordait le fil de 90 degrés, triomphait de l'attraction magnétique, comme le font les substances dia-magnétiques, et se dirigeait de telle sorte, que l'axe optique était perpendiculaire à la ligne des pôles.

Digitized by Google

Les cristaux limpides eux-mêmes prirent constamment cette même position transversale. Comme les tourmalines, si on les chauffe, manifestent une polarité électrique, on serait peut-être tenté de croire que cette électricité joue un certain rôle dans la production du phénomène décrit. Pour se mettre à l'abri de cette objection, M. Plücker fit osciller les cristaux dans l'eau : ils prirent encore, dans ce cas, la même position que dans l'air, et il fallait nécessairement en conclure que la conjecture énoncée n'avait aucun fondement réel.

M. Plücker arriva ainsi à se convaincre que les faits observés par lui étaient vraiment nouveaux ; il partit de là pour mettre en expérience d'autres cristaux; entre autres et d'abord, le spath calcaire, ou spath d'Islande, cristal certainement dia-magnétique. Il employa une lame dont les faces étaient perpendiculaires à l'axe optique, et qui, dans la lumière polarisée, montre, comme on sait, des courbes isochromatiques.

L'axe de la lame, quand les pôles étaient très-rapprochés, se plaça dans la direction des pôles à cause du dia-magnétisme de la masse. Mais, quand on éloigna suffisamment les pôles, le même axe se plaça transversalement, comme si le cristal était devenu magnétique : un rhomboèdre de spath calcaire semblable à ceux que la nature produit, se dirigea constamment de telle sorte que l'axe optique facilement indiqué par la forme cristalline fut situé dans le plan perpendiculaire à la ligne des pôles, plan que nous désignerons sous le nom de plan équatorial.

Toutefois, si par hasard l'axe optique dans l'acte de la suspension était vertical, le cristal se dirigeait comme une substance dia-magnétique. Le béril, la diopside, la vésuvienne, cristaux tous négatifs, et ce qu'il importe de remarquer, tous doués, ainsi que la tourmaline et le spath, de la double réfraction attractive, se comportèrent absolument de la même manière que les deux cristaux précédents. M. Plücker put ainsi énoncer la loi suivante :

Tout cristal doublement réfringent, à un axe et négatif, suspendu entre les pôles d'un aimant, se dirige, comme si l'axe optique était repoussé par chacun des pôles. La force qui détermine cette direction, quand on éloigne les pôles, s'affaiblit plus lentement que celle par laquelle la masse entière est attirée ou repoussée.

Il était naturel dès-lors de penser que les cristaux à deux

Digitized by Google

axes seraient influencés à leur manière par le magnétisme; mais il fallait découvrir si la force magnétique agissait sur les axes eux-mêmes, ou sur la ligne médiane qui divise en deux parties égales l'angle des axes. Pour résoudre cette difficulté, M. Plücker suspendit une lame mince horizontale de mica, en ayant soin que la direction de la ligne médiane coïncidât avec le fil de cocon : la feuille de mica se dirigea de telle sorte que le plan des deux axes devint équatorial, c'est-à-dire comme si les deux axes étaient repoussés. M. Plücker constata ce fait en faisant apparaître les systèmes d'anneaux à l'aide de la lumière polarisée. Mais le mica est un cristal négatif, et plusieurs autres cristaux, quant à la nature de la refraction, se dirigèrent comme le mica; on pouvait donc énoncer cette seconde loi :

Les axes des cristaux à deux axes et négatifs, sont repoussés également par les deux pôles de l'aimant.

Après avoir remarqué la position que le quartz, et la topaze prennent entre les pôles de l'aimant, position incertaine, souvent, et moins nettement tranchée à cause des substances étrangères qui adhèrent à ces cristaux, (on sait que pour exciter le magnétisme dans le quartz, il suffit de le frotter avec une lime, où de le frapper avec l'acier), M. Plücker étendit trop légèrement cette même loi à tous les cristaux positifs et négatifs, et termina ainsi son premier mémoire sur la répulsion des axes optiques, par les pôles des aimants, inséré dans le tome LXII des *Annales de Poggendorff*, 25 juillet 1847.

Les choses en étaient là, lorsque l'illustre Faraday découvrit une nouvelle série de phénomènes analogues à ceux que nous venons de décrire, et les énonça dans deux mémoires présentés à la Société royale de Londres. Ce savant si ingénieux, reconnut sur plusieurs cristaux, d'abord, que la ligne perpendiculaire au plan de clivage principal, ligne appelée par lui magnécristallique, non-seulement n'était pas repoussée par les pôles de l'aimant, mais était réellement attirée; puis, que cette attraction, comme M. Plücker l'avait montré pour la répulsion des axes optiques, dirigeait seulement, mais ne déplacait pas le centre de gravité; enfin, que cette force dirigeante était nulle quand l'axe magnécristallique était vertical. Comment, lorsque le célèbre Faraday lui communiqua ces faits, ne lui serait-il pas venu à

Digitized by Google

l'idée que les lignes magnécristalliques étaient des axes optiques, qui dans ces corps seraient non repoussés, mais attirés. Il publia aussitôt cette opinion dans les *Annales de Poggendorff*, tome LXV, 27 mars 1849, sous ce titre : *D'une nouvelle action du magnétisme sur quelques cristaux, qui possèdent un système dominant de faces de clivage : influence du magnétisme sur la formation des cristaux.*

En effet, ces phénomènes étaient tout à fait semblables à ceux observés par lui; de plus, dans tous les cristaux uni-axes, l'axe magnécristallique coïncide avec l'axe cristallographique principal ; et, ce qui est non moins remarquable, parmi tous les cristaux appartenant au système tesséral ou cubique, il n'en est aucun, quoique doué de clivage, qui manifeste rien de semblable. Mais à l'encontre de sa manière de voir se présentaient les expériences qu'il avait faites sur le quartz et la topaze, et le fait singulier qu'il n'apparaissait rien quand l'axe magnécristallique était vertical.

Parmi les corps qui manifestent le plus nettement le phénomène dont il est ici question, l'illustre Faraday citait le bismuth, l'antimoine, l'arsénic, les sulfates de Nickel et de fer. Les cristaux de ces métaux ont la forme rhomboédrique, et peuvent, parconséquent, être considérés comme uni-axes. En les examinant, M. Plücker reconnut que le bismuth et l'arsénic présentaient très-clairement le phénomène découvert par Faraday. Le prisme taillé dans un cristal de bismuth, et dont l'axe longitudinal était perpendiculaire au plan de clivage, était avec violence dirigé axialement, malgré le dia-magnétisme de la masse, comme si c'eût été un corps magnétique. L'arsénic était magnétique, et une lame mince de ce métal dont les surfaces parallèles étaient en même temps des plans de clivage, prenait la position équatoriale comme l'aurait fait une substance dia-magnétique. Mais l'antimoine expérimenté par lui présenta un phénomène entièrement contraire à celui décrit par Faraday. Une lame mince d'antimoine, préparée comme la lame mince d'arsénic, quoique dia-magnétique, se dirigea comme une substance magnétique, c'est-à-dire que le plan de clivage devint le plan axial. Quoi donc l'empêchait de considérer l'antimoine comme un cas particulier de la loi formulée par lui, et d'admettre, au contraire, que les axes optiques du bismuth et de l'arsénic, ou plus généralement les axes de tous les cristaux positifs étaient attirés? La manière d'être du sulfate de Nickel

Digitized by Google

semblait confirmer ce fait, mais il n'avait pas pu se procurer des cristaux convenables de cette substance. Les expériences faites avec le sulfate de fer furent en contradiction avec son opinion.

Jusque-là M. Plücker avait choisi parmi les cristaux à deux axes, ceux dont les formes cristallines sont des rhomboèdres droits. Personne n'ignore que le plan des axes optiques est déterminé par deux des trois axes cristallographiques, l'axe longitudinal du prisme et la diagonale de la base; et que la ligne médiane ou moyenne coïncide avec l'un ou l'autre de ces axes. Un semblable cristal, suspendu de manière que l'un des axes cristallographiques soit vertical, se dirige par la nouvelle action du magnétisme, de telle sorte que des deux autres axes de cristallisation, l'un prenne la position équatoriale, l'autre la position axiale. Mais il n'en est pas ainsi dans le prisme rhomboédrique oblique, pour lequel, la plupart du temps, la ligne médiane n'est ni perpendiculaire ni parallèle à l'axe de figure. Des considérations théoriques lui avaient déjà fait penser que si les pôles repoussaient également les deux axes d'un semblable prisme suspendu horizontalement, la ligne médiane se placerait constamment dans le plan équatorial. Ainsi guidé, il avait proposé la formule suivante :

$$\text{Tang } p = \cos s \text{ tang } l.$$

l est l'angle constant compris entre l'axe du prisme et la ligne moyenne, p l'angle formé par ce même axe avec la ligne à la fois équatoriale et horizontale, s l'angle dont le cristal a tourné sur lui-même, et que l'on compte à partir de la position où la ligne médiane du cristal est horizontale, pour y revenir après avoir décrit 360°. Cette formule montre : 1° que si l'on fait tourner le cristal dans le même sens autour de son axe, il prendra deux fois tour à tour une même position ; 2° que dans une certaine position, alors que s est égal à 90°, le cristal se dirige équatorialement ; 3° que quelle qu'ait été la position primitive, après une rotation de 180°, les deux parties de la ligne équatoriale font avec la ligne médiane des angles égaux; 4° enfin que le maximum de l'angle p est la valeur constante de l'angle l.

M. Plücker voulut d'abord expérimenter sur un cristal de cyanite, mais ce qu'il attendait, ne se produisit pas : bien plus, tout se passa comme si on avait subsitué la position équatoriale à la position axiale, c'est-à-dire comme si la ligne médiane était attirée et non repoussée. Or, la cyanite est un cristal positif : l'augite imita la cyanite.

Digitized by Google

Mais la diopside. cristal négatif, et dont la forme permettait de voir à l'aide de la lumière polarisée la position des axes, obéit à la loi tracée par la formule. Qui dès lors pourrait douter que la ligne moyenne est attirée ou repoussée suivant que le cristal est positif ou négatif? Néanmoins, il restait encore des faits contradictoires à expliquer et à dompter, ceux surtout observés dans le quartz. M. Plücker alors se décida à employer non plus des plaques taillées dans un cristal de roche, qu'il avait espéré voir quitter la position équatoriale, pour prendre la position axiale, mais un prisme terminé par ses faces primitives. Celui-ci, à cause de son dia-magnétisme, se dirigea d'abord équatorialement; mais, quand on raccourcit le fil, il prit réellement la position axiale. Pour que cette expérience réussisse, il faut avoir soin que la longueur du prisme ne dépasse pas deux fois sa largeur; M. Plücker trouva ensuite que d'autres cristaux, entre autres le scapolithe trouvé à Pargase, le troostite et surtout l'oxide d'étain, manifestaient très-nettement les mêmes phénomènes. Il lui était démontré, dès lors, que la première loi formulée par lui était trop particulière, et il lui substitua la loi générale suivante :

Chacun des pôles de l'aimant attire ou repousse l'axe optique d'un cristal quelconque, suivant que ce cristal est positif ou négatif.

M. Plücker a ensuite examiné avec le plus grand soin les cristaux positifs à deux axes ; et d'abord des cristaux horizontaux de topaze, lesquels, quoique diamagnétiques, prenaient, quand on éloignait les pôles, la position axiale. Dans ces cristaux aussi la ligne médiane coïncidait avec l'axe du prisme. Les lames de gypse ou sulfate de chaux de Montmartre, suspendues horizontalement, prenaient une position telle, qu'il fut manifeste, quand on l'étudia de plus près que la ligne médiane coïncidait avec l'axe des pôles. Ces deux expériences démontraient que la ligne médiane était attirée. Quand cette même lame était suspendue, de manière que la ligne médiane fût perpendiculaire, le plan qui contient les axes optiques prenait la position axiale. De même si les prismes de topaze étaient suspendus verticalement, le plan des axes qui passe par la plus petite diagonale, devenait axial ; ce qui se reproduisit dans les autres cristaux positifs.

Mais il est temps de revenir au sulfate de fer, que M. Plücker examina avec le plus grand soin. Il lui vint d'abord à l'esprit de re-

Digitized by Google

chercher, si les phénomènes décrits par Faraday et rapportés par lui au plan de clivage, n'appartenaient pas plutôt à la ligne moyenne qui fait avec la première un angle de 15°. Il prit donc un beau cristal et en tira un fragment terminé par les plans de clivage : il avait déterminé à l'avance, à l'aide de la lumière polarisée, le plan des axes, et marqué la ligne suivant laquelle ce plan coupe le plan de clivage qui lui est perpendiculaire. De quelque manière qu'on suspendît le cristal, pourvu que les surfaces du clivage pûssent osciller verticalement, l'action était toujours très évidente, la ligne perpendiculaire aux faces de la lame, se dirigeait axialement, lorsque la ligne d'intersection marquée à l'avance était verticale, et que la ligne moyenne par conséquent oscillait autour d'un axe vertical. Mais quand la ligne d'intersection était horizontale, la perpendiculaire, abaissée sur le plan de clivage, était inclinée de 15° d'un côté ou de l'autre. En un mot, tout se passait comme l'exige la formule précédente, en donnant à l'angle l une valeur de 15° et comptant l'angle p à partir de la position axiale.

Des expériences que nous venons de décrire, M. Plücker déduit cette loi générale :

Dans les cristaux à deux axes, la ligne médiane est ou attirée ou repoussée, et cette action s'explique généralement en admettant que les deux axes optiques sont également attirés dans les cristaux positifs, également repoussés dans les cristaux négatifs.

Peut-on imaginer une force, laquelle émanant des pôles magnétiques, dirige de telle sorte un prisme allongé de tourmaline, que les extrémités du prisme fuient ces mêmes pôles qui attirent leur masse? Ni M. Faraday, ni M. Plücker n'ont réussi à expliquer ce fait paradoxal, de quelque manière qu'ils l'aient tenté. Tout récemment, M. Plücker a coupé, dans un grand cristal de sulfate de fer, un cube dont les arêtes avaient 11 millimètres de longueur, dont deux des surfaces latérales étaient perpendiculaires au plan de clivage, et deux autres parallèles à ce même plan; or, quelles que fussent les surfaces que l'on placât devant les armatures rapprochées, on ne put jamais remarquer de différence entre les quantités d'attraction exercée ; elles étaient toujours égales à peu près à 5 grammes 4 dixièmes.

On ne peut pas s'expliquer non plus, pourquoi les cristaux bi-axes

Digitized by Google

négatifs se comportent autrement que les cristaux positifs. La distinction de cristaux négatifs ou positifs n'indique pas autre chose, d'après l'admirable et si lucide interprétation de Fresnel, si ce n'est que l'axe minimum d'élasticité de l'éther, divise en deux parties égales l'angle aigu ou l'angle obtus compris entre les axes optiques, suivant que le cristal est positif ou négatif. Tout cristal, par conséquent, dans lequel les axes optiques sont perpendiculaires entre eux, comme le sulfate de fer, par exemple, ne peut pas être appelé positif ou négatif; il est plutôt une sorte de limite entre les cristaux positifs ou négatifs; on ne peut pas distinguer chez lui géométriquement les lignes qui divisent en parties égales l'angle des axes optiques; mais alors encore l'une de ces lignes correspond à la plus petite élasticité, l'autre à la plus grande. C'est ce qui arriverait si en désignant par les lettres a, b, c, les axes de plus petite, de moyenne et de plus grande élastricité, on avait :

$$2\,b^2 = a^2 + c^2.$$

Quand on suspend un semblable cristal, de manière que les axes oscillent horizontalement, on observe deux positions opposées seulement d'équilibre, également stables, tandis qu'il eut existé nécessairement quatre positions similaires, si on les avait déduites de la considération théorique de la répulsion ou de l'attraction exercée sur les axes optiques. Le sulfate de fer donc, est le seul et unique cristal de ce genre, parmi tous les cristaux observés, qui n'obéisse pas à la loi nouvellement établie.

Après avoir repoussé pendant un certain temps l'hypothèse d'une action magnétique exercée sur les axes optiques, M. Plücker se proposa pour problème de rechercher si, en dehors de sa première supposition, tous les phénomènes ne pouvaient pas trouver leur explication dans la seule distribution de l'éther dans les cristaux, suivant la théorie de Fresnel. En effet, la ligne médiane dans les cristaux positifs où elle est attirée, est un axe d'élasticité minimum; tandis que dans les cristaux négatifs où elle est repoussée, elle est un axe d'élasticité maximum.

Représentons-nous un corps suspendu entre les pôles d'un aimant, de telle sorte qu'il puisse tourner librement autour de son centre de gravité, et concevons autour de ce même centre la surface ellipsoïdale connue, dont les rayons vecteurs sont égaux aux carrés des

Digitized by Google

élasticités. N'est il pas vrai, demanderez-vous, que ce corps se dirigera de manière que l'axe minimum de l'ellipsoïde coïncide avec la ligne qui joint les pôles? N'est-il pas vrai que, si le corps peut tourner simplement autour d'un axe vertical, il prendra la position dans laquelle la direction de la plus petite élasticité sera de préférence aux autres en regard avec les pôles? S'il en était ainsi, les phénomènes que nous avons déjà signalés dans les cristaux positifs et négatifs, suspendus de telle sorte qu'ils puissent tourner autour d'une ligne perpendiculaire au plan des axes optiques, trouveraient leur explication, sans en excepter même le sulfate de fer. On pourrait supposer encore que les directions dans lesquelles l'élasticité surpasse une certaine valeur seraient repoussées; que les directions dans lesquelles l'élasticité est inférieure à cette même valeur seraient attirées. Cependant on a souvent et soigneusement remarqué que le sulfate de fer, suspendu de manière que la ligne moyenne d'élasticité minimum fût verticale, n'était jamais dirigé; et pourtant, on devait s'attendre, d'après la formule, à le voir s'orienter, puisque les deux autres axes d'élasticité sont inégaux. Tous les autres cristaux se comportèrent d'une manière tout à fait contraire à cette hypothèse, force est dès lors de l'abandonner.

Mais comment donc expliquer ces phénomènes? M. Plücker ne répugnerait pas à admettre que la disposition en hélice de l'éther, déterminée, dans la théorie d'Ampère, par l'induction, naît plus facilement et plus énergiquement dans une ou deux directions autour des axes : ou, ce qui revient au même, il serait porté à admettre *que le cristal devenu magnétique par induction acquiert des pôles dans la direction des axes optiques,* si ce n'était que cette nouvelle manière de voir entraînerait aussi l'attraction ou la répulsion de la masse par le seul déplacement des axes. Or, cette diversité d'action ne s'observe pas.

Ne désespérons pas, néanmoins, d'arriver tôt ou tard à l'explication vraie et complète de tous ces phénomènes. Il faut, en attendant, examiner le plus grand nombre de cristaux possible, et observer avec un plus grand soin ceux qui sont plus sensibles à l'action magnétique.

L'illustre Faraday, par son admirable découverte de la rotation du plan de polarisation sous l'action de l'aimant, ouvre déjà la voie à de

Digitized by Google

nouvelles investigations; car il résulte de ce fait capital que l'éther est affecté par l'aimant, et ce qui est plus étonnant, affecté dans les seuls corps qui ne modifient pas d'une manière particulière la nature de la lumière, et sur lesquels l'aimant n'exerce aucune action. Partant de cette considération, M. Plücker fait appel à des recherches précises, qui fassent discerner si le quartz, qui donne au rayon polarisé qui le traverse ce merveilleux état de polarisation rotatoire, ne serait pas affecté d'une manière propre et singulière par l'action magnétique.

II. On sait que les phénomènes manifestés par les minéraux dans la lumière polarisée sont liés avec leur structure et peuvent, par conséquent, l'indiquer, alors que la forme extérieure aurait péri; on peut arriver au même but par le magnétisme, sans avoir besoin de poser cette fois la restriction que les minéraux observés seront transparents. Les déterminations de structure se font même très facilement par ce moyen; et il en résulte que, dans la minéralogie, il faudra désormais tenir compte d'un nouvel élément.

Si un corps suspendu entre les pôles d'une manière quelconque ne se dirige pas toujours comme l'exigent l'attraction magnétique ou la répulsion diamagnétique, de telle sorte que sa plus longue dimension devienne axiale ou équatoriale, on peut en conclure avec certitude que ce corps n'est pas amorphe, et qu'il n'appartient pas au système cubique. Si le corps a un axe de cristallisation principale, qui est en même temps le seul axe optique, alors même qu'on n'aurait en sa possession qu'un fragment informe, on pourra déterminer sans peine cet axe unique par deux suspensions, de la même manière qu'on détermine le centre de gravité d'un corps. Marquez, en effet, sur le minéral négatif les lignes suivant lesquelles il est coupé par les deux plans équatoriaux correspondant au deux suspensions, la ligne qui partage en deux parties égales l'angle de ces deux plans est parallèle à l'axe optique : c'est ce que l'on fait très-facilement pour le spath calcaire et la tourmaline. La méthode est la même pour les cristaux positifs, dont l'oxyde d'étain est un cas remarquable; il faut seulement substituer le plan axial au plan équatorial.

Si le prisme horizontal est suspendu autour de son axe, qu'on a fait tourner, il est dirigé par une action variable, ce qu'on reconnaît au nombre des oscillations qu'exécute, par exemple, le sesqui-ferrocyanate de potasse. S'il se dirige tantôt axialement, tantôt transver-

Digitized by Google

salement comme le staurolithe, le cristal ne pourra être rapporté ni au système tétragonal, ni aux système hexagonal. Si le cristal autour de son axe, qu'on a fait tourner, se maintient même dans une position oblique, il sera clinorhombique, ou clinorhomboëdrique.

Si l'on suspend un fragment de cristal à deux axes, il faudra, au lieu de l'axe unique, considérer la ligne moyenne, et si l'on sait qu'il s'agit d'un cristal positif ou négatif, *on trouvera le plan des deux axes*, qui se dirige axialement dans un cas, équatorialement dans l'autre ; de sorte que si l'on connaît à l'avance l'angle compris entre les axes optiques, on *connaîtra les axes eux-mêmes*. Pour déterminer si le cristal est positif ou négatif, il n'y a rien de plus à faire que de le suspendre d'une manière quelconque, et de le faire tourner autour d'une ligne horizontale ; car, suivant que cette ligne, en conservant toujours le même sens de rotation, passera par la position axiale ou la position équatoriale, le cristal sera positif ou négatif ; et il arrive que la valeur maximum de l'angle que font respectivement entre elles la ligne axiale ou équatoriale avec la ligne horizontale, autour de laquelle le cristal tourne, est en même temps la valeur maximum de l'angle, que cette même ligne fait avec la bissextrice des axes.

On pourrait prévoir *à priori* comment se comporteront les cristaux jumeaux, alors même qu'il se pénètrent les uns les autres. Les cristaux de diopside présentent souvent cette particularité et ils sont par là même très-propres à ce genre d'expérience. La staurotide opaque et croisée est aussi très convenable.

M. Plücker priva, par la chaleur, de son eau de cristallisation un cristal de gypse ou sulfate de chaux, et il arriva que, magnétique d'abord à cause de la direction imprimée aux axes optiques, il devint diamagnétique par suite de l'action uniquement exercée sur la masse entière. M. Plücker examina enfin un crystal de pynite, qu'il tailla de diverses manières sans pouvoir jamais mettre en évidence les axes optiques ; il crut dès lors pouvoir conclure sans témérité que la structure cristalline avait été détruite, d'autant plus que les cristaux de mica, qui ont la même composition chimique, se dirigeaient avec force sous l'influence de l'aimant.

L'oxyde d'étain qui, sous forme de cristal, donnait si nettement naissance à ces phénomènes, ne produisit plus rien à l'état pseu-

Digitized by Google

domorphe. Il n'est en effet permis de rien espérer de semblable des cristaux pseudomorphes.

Le verre subitement refroidi manifeste en se dirigeant sous l'action de l'aimant sa nature de verre trempé.

M. Plücker ne doute pas que l'action magnétique n'indique la transposition des axes opérée dans le gypse, sous l'influence de la chaleur.

III. Pendant qu'il examinait entre les pôles de l'aimant un cristal de cyanite bleue, M. Plücker remarqua que ce cristal, après la rupture du circuit voltaïque, conservait la position qu'il avait prise; ce phénomène subsistait alors même que le cristal était très éloigné des pôles; ce fait l'amena à penser que la terre suffisait à diriger le cristal. Cette conjecture se trouva pleinement prouvée et confirmée, lorsqu'il suspendit à un petit crochet le cristal attaché à un long fil de cocon. *Un cristal est donc un véritable aimant, et, ce qui est bien plus, un aimant auquel vous pouvez assigner le point de l'horizon qu'il indiquera.* On peut faire, par exemple, qu'il regarde le pôle boréal géographique, comme si la déclinaison n'existait pas pour lui; il suffit pour cela de faire tourner le cristal, autant qu'il est nécessaire, dans la petite chappe qui le porte. Lorsque l'on approchait du pôle boréal de l'aiguille cristalline, suspendue horizontalement d'une manière quelconque, le pôle austral d'un aimant cylindrique de 100 millimètres de longueur, de 9 millimètres d'épaisseur, dont l'action l'emportait sur celle de la terre, et en faisant en sorte que l'aimant cylindrique restât lui-même horizontal, l'aiguille se déplaçait, et l'angle compris entre l'axe longitudinal du cristal et l'axe du cylindre était égal à l'angle que ce même axe du cristal faisait avec la ligne méridienne magnétique.

Le cristal de cyanite avait encore ce trait de ressemblance avec l'aiguille magnétique, qu'elle avait une polarité manifeste et une seule position d'équilibre. Ce fait est en lui-même assez important pour qu'on doive en tenir compte dans la recherche de la nature de la nouvelle action magnétique.

M. Plücker n'a pas pu encore discerner si les propriétés du cristal de cyanite étaient des propriétés natives, ou si elles lui avaient été communiquées postérieurement par l'influence d'un puissant aimant. Lorsqu'on approche le cristal de l'aimant, il manifeste sa polarité;

Digitized by Google

mais cette polarité s'invertit entre les pointes des pôles, rapprochées l'une de l'autre : et il est impossible de faire naître ainsi la polarité dont l'axe coïnciderait avec la ligne médiane des axes optiques du cristal. Les autres cristaux de cyanite que M. Plücker a examinés n'ont été que faiblement dirigés par le magnétisme terrestre, avant d'être approchés de l'aimant : ils paraissaient aussi doués de polarité, leur énergie était accrue par l'électro-aimant. N'est il pas naturel de se demander si la terre, dès l'origine, ne les a pas imbus de la propriété magnétique ? Leur polarité n'a-t-elle pas pour cause leur forme cristalline ?

La terre dirigea le cristal de cyanite suspendu même verticalement.

L'augite se comporta de la même manière que la cyanite.

L'oxyde d'étain de Zinnwald fut dirigé bien plus fortement que les cristaux ci-dessus : c'est un cristal uniaxe et positif, dont on peut déterminer l'axe sûrement et très-facilement à l'aide du magnétisme terrestre, en le suspendant. Un fragment de ce cristal, de forme telle que sa plus longue dimension soit perpendiculaire à l'axe optique, constitue une aiguille magnétique *dont les extrémités indiquent les points Ouest et Est*, ou mieux une aiguille qui prend une direction perpendiculaire à celle dont nous nous servons habituellement. Ce cristal, à cause du fer qu'il contient, est magnétique. On trouvera peut-être d'autres cristaux qui n'obéiront pas à l'aimant et qui, néanmoins, seront dirigés par le magnétisme terrestre. Quand l'oxyde d'étain, dont nous venons de parler, est placé entre les pôles, le sens de sa polarité ne change pas, et M. Plücker n'a pas remarqué qu'il se dirigeât avec une plus grande force après avoir été mis en contact avec l'aimant.

Aussitôt qu'il eut reconnu que les axes étaient dirigés si vivement par l'aimant, M. Plücker dut s'attendre à constater bientôt une *réaction*. Mais il essaya en vain de la mettre en évidence par les oscillations que faisaient de petites aiguilles aimantées quand on les suspendait au-dessus du bismuth, du spath calcaire, de la tourmaline, etc. ; on ne pouvait apercevoir aucune différence alors qu'il plaçait des fragments de ces corps, de telle sorte que la position des axes optiques fût changée. Mais, lorsqu'il plaçait une semblable aiguille, c'est-à-dire un fragment d'aiguille à coudre au-dessus du plan qui contient l'axe d'un cristal d'oxyde d'étain, l'action exercée par l'oxyde surpas-

Digitized by Google

sait l'action exercée par la terre : l'*aiguille suivait l'axe du cristal.*

M. Plücker conclut que les phénomènes décrits par lui dans ce paragraphe sont adhérents aux cristaux indiqués, qu'ils ne sont pas absolument le produit de l'induction nouvellement excitée, et qu'ils ne disparaissent pas nécessairement quand cette induction cesse.

IV. *De l'action des aimants dans la formation des cristaux.* Après qu'il eut mis en évidence les relations existantes entre le magnétisme et la structure des corps, M. Plücker ne pouvait pas douter un instant que l'action magnétique exerçât une influence appréciable sur la formation des cristaux. En effet, la force qui dirige le cristal tout entier *doit s'exercer de telle sorte sur les molécules que, pendant que celles-ci se juxtaposent pour donner naissance au cristal, elles prennent, par rapport aux pôles, des positions qui répondent à celles qu'elles auront dans le cristal déjà formé et suspendu librement.* Pour confirmer cette conjecture, M. Plücker a fait cristalliser des solutions salines sous l'influence des pôles ; mais dans les conditions où il s'était placé il ne se manifesta rien de remarquable. Plus tard, quand Faraday eut découvert que le bismuth se dirigeait entre les pôles par la nouvelle action et avec une très-grande force, il reprit ce genre d'expérience et fut plus heureux. *Le bismuth refroidi entre les pôles d'un fort aimant prend une structure telle que le plan de clivage principal soit perpendiculaire à la ligne qui joint les pôles.* Pour le montrer, il prit un fragment de charbon, dans lequel il creusa une petite cavité oblongue et rectangulaire; il le plaça entre les pôles, de telle sorte que le côté le plus long était d'abord axial, puis équatorial et enfin dans une situation oblique ; il chauffa et coula le métal à une température plus grande que la température de fusion, Quand, plus tard, le bismuth refroidi devint un parallélipipède solide, son plan de clivage prit la position ci-dessus indiquée. C'est ce qui fut démontré surtout par ce fait que le *bismuth suspendu entre les pôles prend toujours pour position d'équilibre celle qu'il occupait au moment où il se solidifia.* Il est très-important que l'on répète beaucoup d'expériences de ce genre.

Le magnétisme terrestre n'aurait-il pas peut-être exercé quelque influence sur la formation des masses cristallines renfermées dans le sein du globe? Car plus cette force était peu intense, plus aussi les cristaux se sont refroidis et solidifiés lentement.

Nous donnerons ailleurs le dessin de l'appareil avec lequel M. Plüc-

Digitized by Google

ker a fait ses belles expériences. Ce travail est au-dessus de tous les éloges, et il est trop récent pour que nous puissions, sans témérité, hasarder quelque commentaires; nous le livrons donc tel qu'il est à l'appréciation et à l'admiration de nos lecteurs. M. Plücker prend un vif plaisir à reconnaître qu'il a été parfaitement secondé dans ses travaux par un de ses élèves, M. A. Beer, jeune physicien de grand avenir, et qui a publié récemment un travail précieux sur la position des axes optiques dans les cristaux biaxes. Nous donnerons plus tard l'analyse de cette bonne dissertation.

Il est d'autres recherches moins brillantes en apparence, qui ont moins excité l'attention publique, dont les étonnants résultats n'ont guère été exaltés que par nous, et sont même encore révoqués en doute malgré leur évidence. Nous voulons parler des belles observations faites à Francfort par un homme savant et modeste, le docteur Neef, lesquelles, en constatant que la lumière apparaît constamment au pôle négatif de la pile, la chaleur au pôle positif, ont, mieux encore que les expériences de Faraday, établi un lien intime entre la lumière, la chaleur et l'électricité; nous allons les analyser rapidement, nous donnerons ailleurs l'explication des faits.

RAPPORTS DE LA POLARITÉ ÉLECTRIQUE AVEC LA LUMIÈRE ET LA CHALEUR.

Dans tous les rapports intimes que l'on découvre entre l'électricité et les autres forces de la nature, il est toujours un grand fait capital, primitif, qui, semblable à un germe mystérieux et fécond, renferme tous les faits secondaires, et comme un monde entier. Il suffit de l'observer avec soin, pour le voir se développer successivement, et arriver bientôt à la connaissance d'un grand ensemble. Tel fut, par exemple, pour l'électro-chimie, le phénomène de la décomposition de l'eau, c'est-à-dire cette apparition constante de l'oxygène au pôle positif, et de l'hydrogène au pôle négatif de la pile. Tel fut, dans l'électro-magnétisme, le grand fait découvert par Œrsted, et qui consiste en ce que l'aiguille magnétique se place toujours transversalement ou à angle droit, au-dessus et au-dessous du fil conducteur du courant, et de telle sorte que sa polarité ait toujours la même relation, dans les mêmes circonstances, avec la polarité de la pile.

Développés par les savantes recherches des Davy, des Berzélius,

Digitized by Google

des Ampère, des Arago, des Faraday, ces deux faits primitifs sont devenus les premiers anneaux de deux sciences aujourd'hui fort étendues et presque complètes.

Mais il est une science encore à naître, par rapport à laquelle nous ne faisons que balbutier : c'est celle de la nature de la lumière et de la chaleur, et de leurs rapports avec l'électricité, qui si souvent les fait naître. Si jusqu'ici cette nature et ces rapports sont restés inconnus, ne serait-ce pas parce que nous n'avions pas découvert encore le fait fondamental, qui doit être le point de départ nécessaire de toutes les découvertes à venir ? Ce fait capital ne serait-il pas celui que M. le docteur Neef vient de révéler ?

On admettait, jusqu'ici, que la lumière électrique était un phénomène auquel les deux électricités prenaient part, et qui se produisait entre les deux pôles, quand ils étaient séparés par un corps mauvais conducteur. On n'était pas allé plus loin. A toutes ces questions : L'une des électricités ou toutes les deux sont-elles lumineuses par elles-mêmes ? La lumière sous forme de fluide les accompagne-t-elle? Est-ce le milieu électrique qui devient lumineux ? Le développement de la chaleur joue-t-il un rôle important dans la production de la lumière ? la théorie et l'expérience n'avaient encore rien répondu de satisfaisant. M. Neef, à l'aide d'un instrument habilement construit, qu'il a appelé électro-moteur-magnétique, et qu'il manie avec la plus grande dextérité, est venu éclairer d'un jour nouveau ces nombreuses obscurités.

On sait que dans cet appareil, que plusieurs physiciens ont vu fonctionner à Paris, il se produit, entre le marteau et l'enclume, c'est-à-dire, entre une petite lame et une pointe de platine, à chaque rupture du courant, ce qu'on nommait jusqu'ici une étincelle électrique, qui allait, suivant le langage reçu, d'un pôle à l'autre. Cette étincelle n'est nullement le résultat de la combustion du métal ; car, quand on se sert de courants très-faibles, l'apparition de lumière coïncide avec un dégagement de chaleur insensible. La vérité est que le phénomène de lumière apparaît au pôle négatif, jamais au pôle positif. On le voit avec évidence, quand on étudie sa manifestation dans l'électro-moteur, avec une loupe ou un microscope. Et c'est en cela que consiste la belle découverte de M. Neef. Déjà, avec un appareil qui grossit cinq fois, on ne peut plus se faire illusion sur la

Digitized by Google

vérité de cette proposition fondamentale : mais, quand le microscope grossit vingt-cinq ou cinquante fois, le phénomène se manifeste avec beaucoup plus de netteté. L'enclume et le marteau, ou la lame et la pointe, peuvent être tour à tour le pôle positif et le pôle négatif, mais, de quelque manière qu'on renverse le courant, la lumière apparaîtra toujours au pôle négatif; elle se montrera au point de la lame située vis-à-vis de la pointe, ou à l'extrémité de la pointe, si la lame et la pointe sont tour à tour le pôle négatif; la pointe dans le premier cas, la lame dans le second, resteront tout à fait obscures; c'est un phénomène permanent, une règle sans exception.

La lumière dont nous venons de parler, et que M. Neef désigne sous le nom de lumière primitive, est composée de points très-blancs, sans dimensions aucunes, même quand ils sont vus au microscope; elle est entourée d'une lumière ou flamme peu éclatante, fixe, violette, qui s'étend sur la lame comme un cercle plan, ou enveloppe la pointe sous forme de surface conique.

En diminuant peu à peu l'intensité de la pile, au moyen, par exemple, du modérateur décrit dans les Annales de Poggendorf, tome XX, page 235, on peut rendre de plus en plus faible cette lumière bleue, la faire évanouir même; le nombre des points brillants diminue alors sans qu'ils perdent de leur éclat, et bientôt l'on n'en voit plus qu'un seul. Si, au contraire, on augmente graduellement la force de la pile, le nombre des points blancs augmente rapidement, ils forment bientôt une surface brillante, la lumière violette ou la flamme s'étale aussi : plus tard, elle franchit ses bornes premières, elle se trouve avoir passé du violet au rouge, et forme comme un petit volcan : les étincelles finissent par apparaître; de temps en temps on les voit s'élancer comme des points brillants, partant du pôle lumineux et allant au pôle obscur, sans qu'on puisse y voir une double décharge d'un pôle à l'autre. Si l'intensité du courant dépasse certaines limites, le fil et la lame rougissent, la combustion commence, les deux lumières se confondent, on ne peut plus les distinguer, mais on est convaincu qu'il s'agit, cette fois, d'un phénomène nouveau, qui n'est plus le résultat de la seule électricité, et qui se complique d'une chaleur étrangère et consécutive.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que de la lumière primitive. Née de l'électricité, il est constant qu'elle se montre toujours au pôle négatif; étudions maintenant l'apparition de la chaleur.

Digitized by Google

Mille expériences ont démontré que les courants électriques sont une source de chaleur qui peut aller jusqu'à la combustion la plus active; mais M. Neef va plus loin, il ne craint pas d'affirmer que, si le pôle négatif, ou le *kathode*, pour nous servir d'une expression assez communément reçue en Allemagne, est le point de départ de la lumière, le pôle positif, ou l'*anode*, est l'origine de la chaleur. En effet, quand on observe au microscope la pointe ou le marteau constitué à l'état d'anode ou de pôle positif, on le voit, d'obscur qu'il était en présence de l'enclume lumineuse, rougir tout à coup, si le courant est assez fort, ce qui ne lui arrive jamais, avec une même intensité de pile, quand il est constitué à l'état de kathode ou de pôle négatif.

M. Walker avait constaté le même phénomène dans de bien plus larges proportions avec une pile de Daniel, formée de 150 cellules ou éléments. Il mettait en croix les deux fils conducteurs, sans les amener au contact, et en laissant entre eux un petit intervalle; aussitôt on voyait apparaître un courant brillant de lumière dans la mince couche d'air qui séparait les fils : le conducteur positif, depuis le point de croisement jusqu'à son extrémité libre, devenait subitement rouge, se ramollissait, se courbait, tandis que le fil négatif restait comparativement froid.

M. Walker encore plongea les extrémités des deux fils dans des vases séparés, munis de thermomètres qui communiquaient par une mèche capillaire; la température de l'eau versée dans le vase où aboutissait le fil positif s'élevait beaucoup plus que celle qui communiquait directement avec le pôle négatif.

Personne n'ignore que les effets mécaniques de la pile sont tout à fait corrélatifs au développement de la chaleur électrique; or, M. Riess décrit ainsi l'effet produit sur le conducteur métallique : il devient chaud, il éprouve des ébranlements, il se courbe et se recourbe, il rougit, il se sépare violemment de son point d'attache, il éclate, il fond, il se dissipe en poudre impalpable. Et tous ces effets thermiques à la fois et mécaniques, sur lequel des conducteurs apparaissent-ils? sur celui qui se lie au pôle positif.

Ces effets sont même si constants que les arts en ont tiré un parti avantageux : en partant de là, M. Pring est parvenu à faire de bonnes gravures sur des plaques d'acier, sans autre burin que l'électricité galvanique. Pour graver en creux, il met la plaque d'acier en com-

Digitized by Google

munication avec le pôle positif, et dessine sur elle avec une pointe de platine communiquant avec le pôle négatif; à chaque interruption de contact, des parcelles d'acier prennent feu, se détachent, et la plaque se creuse. Pour graver en relief, c'est le contraire : la plaque doit communiquer au pôle négatif, et le fil servant de burin au pôle positif, alors, à chaque étincelle, quelques particules arrachées au fil viennent adhérer à la plaque d'acier, et dessinent le relief qu'il s'agissait d'obtenir.

Enfin, lorsqu'on met en présence deux cônes de charbon aux pôles de la pile, on voit toujours que le cône en contact avec le pôle positif donne plus de chaleur, qu'il se creuse et se détruit peu à peu, tandis que le cône placé au pôle négatif s'accroît aux dépens du premier. Toutes ces expériences se réunissent pour prouver que la production de chaleur apparaît surtout au pôle positif.

Faut-il aller plus loin ? Faut-il admettre que, s'il y a élévation de température au pôle positif, il y a abaissement de température au pôle négatif? Ne serait-ce pas là la cause du froid signalé par M. Peltier, dans le passage d'un courant galvanique? M. Neef n'ose pas se prononcer sur cette difficile question: il croit agir prudemment, et se contente d'avoir démontré : 1° que la lumière apparaît toujours au pôle négatif qui lui donne naissance, et que cette lumière primitive est indépendante de la chaleur; 2° que la source de la chaleur est proprement le pôle positif, et que cette chaleur est originairement obscure; 3° que la lumière et la chaleur ne se confondent pas à l'état naissant, mais seulement quand elles sont arrivées à un certain état d'exaltation; de cette fusion naissent les phénomènes du feu et de la combustion.

M. Matteucci a repris tout récemment l'étude des phénomènes signalés par M. Neef. Quoique la lettre écrite par lui à l'Académie soit prolixe et confuse, nous la reproduirons textuellement. Il importe en effet d'appeler l'attention des physiciens sur ces importantes recherches :

« J'ai étudié les phénomènes calorifiques, lumineux, et le transport de matière de l'arc voltaïque, en me servant, pour le produire, de la machine électro-magnétique, qui est aujourd'hui employée généralement dans l'application de l'électricité aux malades. Avec cette machine, qui fonctionne parfaitement pendant des jours entiers avec

Digitized by Google

quelques éléments de Bunsen ou de Grove, on a, entre une pointe et une lame de platine, une série continuelle d'étincelles électriques correspondantes aux interruptions très-rapprochées du circuit. En observant le phénomène à la simple vue, on croirait à l'existence d'un arc continu de lumière ; mais, en regardant un disque tournant avec une certaine vitesse, et dont la surface est peinte en rayons noirs et brillants, il est facile de s'assurer de la discontinuité de cette lumière électrique.

» Dans toutes mes expériences, j'ai employé deux pointes semblables de platine ou d'un autre métal, au lieu de la pointe et de la lame, comme extrémités entre lesquelles l'étincelle doit éclater.

» J'ai étudié d'abord la température des deux pointes métalliques au moment où l'arc électrique était produit, et, pour cela, très-près de l'extrémité des pointes, j'avais fait faire un trou qui avait à peine un millimètre de diamètre, et dans lequel était fixée la pointe d'une pince thermo-électrique de fer et de cuivre, en communication avec le galvanomètre. Quand l'expérience est bien conduite, de manière à avoir une série continuelle d'étincelles accompagnées par un son constant, on a aussi une déviation fixe au galvanomètre ; j'ai démontré ainsi, et mesuré la différence de la température de la pointe positive comparée à celle de la pointe négative; cette dernière était toujours moins élevée : la différence varie suivant les métaux, comme on devait s'y attendre; je l'ai trouvée plus grande avec le fer et le cuivre, le fer et le platine, et moindre avec le plomb, le bismuth et le zinc.

» J'ai étudié ensuite les phénomènes lumineux de cet arc électrique ; ce qui était important à faire, dans ce cas, d'après l'observation du docteur Neef, de Francfort, qui n'avait jamais vu de lumière qu'au pôle négatif. Suivant le docteur Neef, avec un courant très-faible, on a constamment, et uniquement sur le pôle négatif, une lumière électrique qu'il appelle primaire, parce qu'il la croit indépendante de la présence de la matière des pôles.

» J'ai fait une longue étude de l'arc voltaïque obtenu avec la machine électro-magnétique, en l'observant à l'aide d'un microscope qui grossit de quarante à soixante fois. C'est surtout en employant des pointes de fer ou de platine et un courant très-faible, qu'on fait réussir l'expérience, qui est très-belle et importante. Voici les phénomènes que j'ai observés constamment :

Digitized by Google

» 1° On voit très-distinctement l'extrémité positive seule à l'état d'incandescence; sur sa surface roulent des globules de matière rouge et fondue qui s'en détachent en y laissant des cavités, et sont lancés sur la pointe négative où ils vont former des espèces de champignons. En obligeant les deux pointes de fer à rester en contact, c'est un phénomène très-beau à observer que la formation d'un double cône de lave incandescente d'une lumière très-brillante au milieu, et qui, appuyée par ses bases sur les deux pointes métalliques, coule évidemment du pôle positif au négatif.

» 2° On voit une lumière diffuse semblable à une flamme ou à un nuage lumineux, mais transparent, qui enveloppe les deux pointes; cette lumière varie de couleur avec la nature des métaux des pointes, et ressemble à toute autre lumière électrique qu'on produit entre des métaux différents. Ainsi elle est verte avec le cuivre, d'un jaune sale avec le zinc, violette avec le platine et l'argent.

» 3° Cette lumière ou flamme est constamment traversée par des points étincelants semblables à ceux qu'on produit quand on frappe sur le fer chaud; ces points étincelants se produisent principalement avec des pointes de fer, et on les voit éclater toujours en dehors de la flamme électrique.

» 4° Enfin, des points lumineux, très-brillants, très-mobiles et qui semblent se refouler toujours vers l'extrémité de la pointe, apparaissent constamment et seulement sur la pointe négative. L'observation du docteur Neef est, en cela, très-exacte; il suffit de changer la direction du courant pour voir cette lumière sauter immédiatement d'un pôle à l'autre. Si une goutte d'huile se trouve entre les pointes, la lumière du pôle négatif se concentre sur l'extrémité seule, comme on l'obtient avec un courant excessivement faible. Si l'on emploie un courant un peu fort, on ne voit plus les phénomènes décrits se produire distinctement, et les deux pôles apparaissent alors également lumineux.

» Enfin, j'ai aussi étudié le transport de la matière par l'étincelle entre les deux extrémités métalliques; j'ai employé pour cela une lame et une pointe de métaux semblables ou différents, en tenant la lame tantôt positive, tantôt négative. C'est toujours la lame que j'ai observée après l'expérience avec le microscope; il y a, dans tous les cas, et invariablement, transport du métal positif sur le négatif. La tache ronde qui se forme sur la lame se compose de la partie centrale où

Digitized by Google

l'on voit les signes de la fusion et où l'on trouve déposé le métal transporté de l'autre pôle; autour de cette partie centrale, il y a un cercle rayonnant d'une couleur toujours plus ou moins foncée, qui varie avec les différents métaux. Lorsque la lame est positive, les signes de la fusion sont plus grands, on y voit à peine les taches du métal transporté du pôle négatif, et le contour, de couleur foncée, est très-grand. C'est le contraire qui a lieu si la lame est négative. Si une goutte d'eau gommée ou de térébenthine est interposée entre la pointe et la lame, on voit bientôt la goutte se charger d'une poussière noire, qui est composée de métal très-divisé, et la tache formée sur la lame manque de contours.

» Ayant eu pour principal but dans ces recherches d'étudier la production de la lumière au pôle négatif, pour ne pas recourir à l'hypothèse faite à ce sujet de la lumière produite par un pôle, et de la chaleur par l'autre, j'ai fait un grand nombre d'expériences en tenant les pointes positive et négative faites de deux métaux différents. J'ai trouvé que la lumière fixe au pôle négatif ne se produit jamais sans la présence d'une pointe en platine au pôle positif, et, dans ce cas, la nature du métal de la pointe négative est indifférente; au contraire, si la pointe négative est en platine, et si l'on a des pointes en fer, zinc, cuivre ou argent, au pôle positif, la lumière fixe au pôle négatif, dépendant de la nature des métaux et se produisant principalement avec le platine, est due à l'échauffement plus grand du pôle positif et aux particules arrachées de ce pôle, devenues incandescentes par leurs dimensions très-petites, et rejetées sur le pôle négatif; il est clair qu'avec des métaux qui peuvent s'oxyder et brûler facilement à l'air, ces phénomènes ne peuvent plus se produire de la même manière qu'avec le platine.

» Il me restait à rechercher quelle pourrait être la cause de l'échauffement si inégal de la matière des deux pôles. L'arc voltaïque, que nous avons étudié, se produit dans un circuit qui est tantôt formé par le contact des deux pointes, tantôt rétabli imparfaitement par le transport de la matière avec l'étincelle. J'ai fait passer un courant électrique produit par une pile à force constante, à travers deux tiges cylindriques de fer ou de plomb, qui se touchaient par leurs bases. Chacune de ces tiges avait près de sa base un tout petit trou, dans l'intérieur duquel était placée une plaque thermo-électrique en communication avec le galvanomètre. J'avais ainsi la mesure de la tem-

Digitized by Google

pérature développée par le passage du courant dans la tige métallique auprès de l'interruption, ou plus exactement auprès des extrémités des deux tiges en contact. Avec cette disposition, j'ai pu facilement m'assurer que la température développée par le passage du courant était à son maximum près de l'interruption, et que pour faire varier cette température, il suffisait de faire varier la pression réciproque des deux tiges. A mesure que la pression diminuait, et sans que le courant électrique variât sensiblement, la température des tiges devenait toujours plus élevée. Ainsi le courant thermo-électrique développé par la pince, étant de 10 à 15 degrés lorsque les deux tiges sont très-pressées l'une contre l'autre, s'élève à 60 ou 70 degrés quand on diminue cette pression. De même, le dégagement de la chaleur varie considérablement lorsque la surface des bases des tiges qui sont en contact est ou oxydée ou polie, ou couverte d'une couche très-mince de graphite, d'oxyde de fer, etc. Toujours la chaleur développée augmente par l'oxydation ou par une couche de poussière de graphite qui couvre la surface des tiges. Dans ce cas, l'extrémité la plus chaude est toujours celle qui communique au pôle positif, et ce cas, le plus favorable pour obtenir la plus grande différence de température entre le pôle positif et le pôle négatif, est toujours celui dans lequel la surface de l'extrémité négative étant couverte d'oxyde ou de poussière de graphite, celle de l'extrémité positive est restée polie. En rapprochant ce fait de celui que nous avons précédemment signalé concernant l'échauffement inégal des deux pôles, il devient évident que, puisque par le fait du transport de la matière, du pôle positif au négatif, la surface des deux pôles s'altère différemment, et que la plus grande altération a lieu sur le pôle négatif, il faut que la différence de température soit due, au moins en partie, à la différence d'altération de la surface, qui est une conséquence du fait du transport déjà cité. Nous espérons avoir ainsi démontré expérimentalement la liaison qui existe entre les phénomènes de l'arc voltaïque, et nous sommes amenés à les faire dépendre du transport de la matière du pôle positif au négatif. D'ailleurs, nous savons, par les expériences de M. Porret et de M. Becquerel, que le transport de la matière du pôle positif au négatif est un phénomène indépendant du développement de la chaleur par le courant électrique.

Digitized by Google

« J'espère pouvoir me livrer bientôt à de nouvelles expériences destinées à confirmer les vues que je viens d'indiquer. »

Nous sommes désolé d'avoir à le dire, mais cette note de M. Matteucci, loin d'éclairer la question délicate soulevée par M. Neef, la complique et l'entoure d'obscurités amoncelées comme à plaisir. Autant les expériences de M. Neef, telles qu'il les a répétées devant nous à Francfort, étaient nettes, précises, concluantes, autant celles de M. Matteucci sont complexes, incertaines, indécises. Il fallait, avant tout, pour mettre en évidence le phénomène capital de la présence de la chaleur au pôle positif, de la lumière au pôle négatif, se mettre à l'abri de l'incandescence du kathode et de l'anode, il fallait pour cela n'employer que des courants excessivement faibles et des métaux presque inoxydables ou incombustibles, comme la pointe et l'enclume en platine de M. Neef. M. Matteucci semble avoir compris à peine la nécessité de ces conditions indispensables, et nous lui en voulons réellement d'avoir eu le courage de venir obscurcir ou étouffer, sous des hypothèses complétement gratuites, une des plus belles et des plus fécondes observations de la physique moderne.

Pour nous, qui avons vu, de nos yeux vu, des expériences parfaitement faites; qui, dans les circonstances les plus favorables et loin de toute source d'erreur, avons vu comme par enchantement la lumière passer d'une extrémité du circuit à l'autre, et briller toujours au pôle négatif, en laissant le pôle positif dans l'obscurité, nous croyons à la grande découverte de M. Neef, et nous inscrivons son nom sur le catalogue des physiciens éminemment habiles et heureux.

Au reste, la production de la chaleur au pôle positif presque exclusivement ne peut pas être révoquée en doute : elle devient évidente, par exemple, dans le petit appareil de M. De Larive, où l'on met en présence deux cylindres de fer terminés en cônes aigus et communiquant aux deux pôles de la pile. On s'assure, à l'aide des seuls doigts, que le fer communiquant au pôle négatif est encore froid, quand le fer positif est déjà très-chaud.

La production de la lumière au pôle négatif presque exlcusivement est aussi pour nous un fait incontestable qui nous a souvent frappé depuis que nous avons reçu de M. Neef le bienfait de l'initiation. Nous l'avons observé dans le charmant appareil de M. Froment à courants interrompus. Nous l'avons vu chez M. Rumkorff sur grande échelle : on mettait en présence, dans le vide, deux boules de platine qui devenaient les pôles d'un courant d'induction déterminé à

Digitized by Google

l'aide de la roue de M. Masson, et l'on voyait distinctement qu'une seule des boules de platine était lumineuse et froide relativement, la seconde, chaude et obscure ; c'était tantôt l'une, tantôt l'autre, suivant le sens du courant ; et en tenant compte de l'inversion du courant d'induction, on constatait la vérité de la proposition du docteur Neef.

Ce même phénomène enfin a brillé pour nous d'un éclat plus grand encore lorsque nous avons observé de plus près la naissance de l'arc lumineux entre les deux pointes de charbon. Au moment où l'on ferme le circuit, nous avons presque toujours vu le pôle négatif s'illuminer le premier d'une lumière faible, de la lumière primitive du docteur Neef. Quand plus tard le courant était établi, que la chaleur était devenue très-intense, l'éclat du pôle positif, centre de la combustion, refoulait dans l'ombre le pôle négatif qui restait presque obscur ou éclairé seulement d'une lumière empruntée. Jusqu'à nouvel ordre donc, nous maintenons M. Neef dans tous ses droits d'inventeur, et nous croyons fermement à la vérité de sa belle proposition. Pourquoi faut-il que les comptes-rendus de l'Académie des sciences, si accessibles aux improvisations de M. Matteucci, soient restés fermés à une toute petite note dans laquelle, à notre retour d'Allemagne, nous donnions l'énoncé de la belle découverte de M. Neef, et l'aperçu, en quelques lignes, de son mode de démonstration ? *Pondus et pondus, mensura et mensura.* Quel singulier et triste résultat de la négligence ou de la mauvaise volonté ! le beau mémoire de M. Neef a été exclu, même sous forme d'abrégé, du Recueil académique, et la si imparfaite dissertation de M. Matteucci y a trouvé une large place !

Nous nous croirions quelque peu coupable, si nous n'accordions pas un petit espace aux observations suivantes du R. P. Maas, professeur de physique au collége de la Paix, à Namur ; elles ont quelque rapport avec celles de M. Neef, et ne manquent pas d'un certain intérêt.

Nous laisserons parler l'auteur, car il nous serait impossible de rédiger nous-mêmes l'exposition d'une série de phénomènes que nous n'avons pas vus :

« Je venais d'achever pour mon cours une pile de Grove de 70 très-petits couples ; le platine n'a que 3 centim. de long sur 2 centim. de large, le zinc est petit en proportion. Son énergie présumée me fit espérer que je pourrais produire facilement la décomposition simul-

Digitized by Google

tanée de plusieurs substances. J'avais donc mis à la suite les uns des autres plusieurs tubes en U renfermant, à partir du pôle positif, de l'acide sulfurique, de l'acide chlorhydrique, de l'acide azotique, de l'acétate de plomb, et enfin un voltaïmètre pour comparer les équivalents de l'hydrogène et du plomb. Ces tubes communiquaient entre eux par des fils de platine de 3 millim. de diamètre sur 160 millim. de long. Tous les liquides étaient chimiquement purs, sauf l'eau du voltaïmètre, aiguisée par une goutte d'acide sulfurique. Je crois devoir faire remarquer que la pile avait déjà servi pendant près d'une heure pour l'arc voltaïque et la magnifique atmosphère violette dans le vide, pour la décomposition de la potasse, l'amalgame d'ammonium, etc. Or, à la reprise de la leçon, à peine la petite pile avait-elle commencé à produire ses effets (3,4 cent. cubes pendant 3 min., sans réduction à l'état normal 3,75), que le tube rempli d'acétate se mit à bouillir fortement du côté positif avec production abondante de péroxyde de plomb. Obligé de l'écarter, je continuais avec le reste de l'appareil; mais à peine avais-je touché le dernier liquide avec le voltaïmètre (l'acide azotique) par le fil qui devait devenir un pôle négatif, qu'un bruissement analogue à celui que produit un fer rouge dans l'eau se fit entendre, pendant que l'hydrogène et l'azote, sans odeur d'ammoniaque, se dégageaient en abondance. L'extrémité même du fil de platine était d'un blanc éblouissant, le reste d'un beau bleu; en outre le fil était engagé de plus d'un centimètre dans le liquide. Je substituai alors au platine des fils d'argent, puis de cuivre, de même diamètre. L'argent et le cuivre devinrent bleus comme le platine; le fil de fer, au contraire, devint jaune; il avait le diamètre de ceux qui, dans le commerce, portent le n° 12.

» Après avoir écarté le tube d'acide azotique, j'essayais les mêmes fils dans l'acide chlorhydrique : le platine devint vert jaunâtre, l'argent vert splendide, le cuivre bleu; le fer, légèrement plongé, devint bleu d'azur; puis, enfoncé à la profondeur d'environ 5 cent., d'un blanc éblouissant sur toute sa longueur. C'est l'acide chlorhydrique qui produit le plus d'effet : plus d'une fois le petit fil de fer glissant le long des parois du tube, jusqu'à venir rencontrer le niveau du liquide, devenait tellement incandescent, qu'il se soudait au verre au point de demander un effort pour le détacher. C'est dans cet acide que jai pu enfoncer le platine jusqu'à une profondeur de 12 cent.,

Digitized by Google

en le conservant dans l'état d'ignition ; mais cette fois-ci sa couleur était rouge. En le poussant un peu plus loin, jusqu'à venir déborder du côté positif, la lumière s'éteignit subitement, mais sans choc. Je mentionne ce nouveau fait parce que le cuivre, immergé semblablement jusqu'à la profondeur de 5 cent., s'est éteint chaque fois avec un bruit sec.

» Pendant que le phénomène de l'ignition continuait à se produire, je mis en contact immédiat les deux gros rhéophores que j'avais fait passer par les encadrements de la fenêtre et du volet; puis, ayant supprimé le contact, la décomposition et l'ignition qui s'étaient arrêtées ne recommencèrent plus ensemble ; il n'y eut que décomposition silencieuse. Retirant alors le fil de platine, puis le replongeant de nouveau, je produisis simultanément les deux effets plusieurs fois de suite.

» Je ne m'étais pas attendu à ces phénomènes, et j'étais loin de les prévoir ; je n'avais pas même voulu essayer l'incandescence directe du fil de platine avec une pile dont chaque couple avait si peu d'étendue : on sait, en effet, que, dans ce cas, mille couples ne produiront guère plus d'action calorifique qu'un seul. Cependant, pour m'assurer de la réalité, je pris même le fil de platine qui m'avait servi dans les liquides, et en rapprochant les électrodes jusqu'à n'être plus qu'à un demi-millimètre de distance, je n'obtins aucune lumière, même dans l'obscurité. Voilà donc le pouvoir échauffant de la pile augmenté au moins dans le rapport de 1 à 240, sans mettre en ligne de compte l'énorme destruction de force que produit la colonne liquide interposée dans le second cas.

» Voici maintenant les tableaux des diverses couleurs qui se produisent sur les fils plongés dans les liquides :

Au pôle négatif.	Acide chlorhydrique.	Acide sulfurique.	Acide azot. (concent.)	Potasse.	Ammoniaque.
—	—	—	—	—	—
PLATINE.	Vert-jaune.	Violet.	Bleu.	Blanc.	Aucun effet.
ARGENT.....	Vert.	Bleu et bleu-vert par places.		Jaune.	Pas d'observ.
CUIVRE	Bleu.	Bleu.	Bleu.	Blanc-jaune.	»
FER.	Bleu d'azur.	Violet.	Jaune.	Violet.	»
Id..... .	Blanc sur une plus grande longueur.	brûle hors du liquide.	»	»	»

» Il est inutile d'indiquer les densités des liquides, puisque l'expérience se renouvelle dans un liquide déjà considérablement altéré. L'acide azotique seul m'a semblé devoir être fumant; une quantité d'eau assez petite surajoutée diminue sensiblement la longueur de la partie incandescente.

Au pôle positif.	Acide chlorhydr.	Acide sulfurique.	Acide azotique affaibli par l'action.	Potasse.
Platine.....	Rouge.	Rouge.	Blanc.	Rouge.
Argent.....	Id.	Id.	Rouge.	Id.
Cuivre.....	Id.	Id.	Aucun effet.	Rouge-jaune.
Fer.....	Id.	Id.	Id.	Rouge vif.

» Au pôle positif, l'ignition s'établit bien plus difficilement : on dirait qu'il y a lutte entre l'incandescence et l'affinité des éléments électro-négatifs pour les métaux. Le cuivre devient d'abord rouge sur une assez grande longueur, puis s'éteint tout à coup sans bruit, sauf l'extrémité qui reste rouge. Toutes les couleurs du spectre, sauf le rouge, se montrent au pôle négatif; c'est au contraire le rouge qui domine presque exclusivement au pôle positif.

. . . . . .

» J'ai été vivement préoccupé depuis lors de la presque constante apparition de la couleur rouge au pôle positif. J'ai, par conséquent, dû commencer par m'assurer si cette teinte rouge allait encore se présenter en employant soit d'autres liquides que des acides et des alcalis, soit d'autres électrodes. On pouvait, à la vérité, présumer qu'il en serait des sels comme des acides ou des bases, puisque dans le moment où la pile commence à agir, la décomposition porte les éléments en sens opposés. L'intérêt de la question m'a excité à ne pas me fier à des suppositions, d'autant plus qu'en plongeant les pôles dans une dissolution saline, j'avais une nouvelle circonstance qui plaçait l'appareil dans des conditions un peu différentes des premières. En effet, l'un des pôles devait cette fois être entouré d'une atmosphère d'éléments électro-positifs, l'autre d'éléments négatifs en plus grande opposition.

» Les deux tableaux suivants font connaître les effets observés et servent de complément à ceux que j'ai déjà publiés; l'acétate de plomb n'y figure cependant pas, parce que tous les résultats ont été négatifs. L'or dans l'acide chlorhydrique au pôle négatif a paru vio-

Digitized by Google

let et blanc-jaunâtre par places; au pôle positif ont paru des étincelles rouges-jaunâtres sur un fond bleu-sombre :

Au pôle NÉGATIF.	Azotate de plomb.	Azotate de poasse.	Sulfate de soude.	Chlorure de sodium.
—	—	—	—	—
OR.....	Violet magnifiq.	Violet.	Blanc-jaune.	Blanc-jaune.
PLATINE.....	Violet.	Violet-blanc.	Blanc-jaune.	Jaune pur.
ARGENT.. ...	Violet, vert,	Violet, puis vert.	Blanc-jaune.	Blanc-jaune.
CUIVRE.....	Vert.	Blanc.	(1. Blanc-jaune	Blanc-jaune.
MAILLECHORT.	Violet, vert, rouge.	Violet, brule.	Blanc-jaune.	Blanc- (2. jaune. (4.
FER.....	Violet.	Blanc.	Blanc-jaune.	Blanc- (3. jaune. (5.
ZINC.....	»	Blanc, Fond.	»	»
CHARBON.....	»	Blanc-jaune. Se consume.	»	»

Au pôle POSITIF.	Azotate de plomb.	Azotate de potasse.	Sulfate de soude.	Chlorure de sodium.
—	—	—	—	—
OR.....	Rouge.	Rouge.	Rouge.	Rouge.
PLATINE.....	»	Rouge. Pétillement sec.	»	»
ARGENT.....	»	Rouge-blanc.	»	»
CUIVRE.....	»	»	»	»
MAILLECHORT.	»	»	»	»
FER.....	»	Rouge, puis vert.	»	»
ZINC.....	»	Rouge.	»	»
CHARBON.....	»	»	»	»

» Ainsi le rouge domine presque exclusivement au pôle positif, en passant quelquefois au blanc et au jaunâtre, suivant l'énergie du courant : il est étonnant que l'orangé, si voisin du rouge, ne se soit jamais produit nulle part. Ne dirait-on pas, avec le docteur Brewster, que l'orangé n'est pas une couleur primitive? mais comment ne se produit-il pas par mélange?

» Le blanc s'est manifesté plusieurs fois, mais seulement avec un courant énergique et dans des dissolutions par trop concentrées : j'opérais alors avec de l'azotate de potasse que j'avais étendu d'un peu d'eau.

» Le vert paraît plus souvent : avec le fer, je l'ai vu très-distinctement au pôle positif; il est plus fréquent au pôle négatif.

» C'est le jaune avec le bleu et le violet, formant souvent atmosphère,

Digitized by Google

comme dans les cas marqués de 1 à 5, dans le tableau du pôle négatif, qui aiment à se produire.

» L'influence de la conductibilité des métaux s'est surtout fait sentir dans l'emploi de l'or, que je n'ai pas pu enfoncer sur une longueur un peu considérable sans faire vesser le phénomène. Elle s'est aussi produite, mais en sens opposé, dans le zinc, qui avait 1 millimètre de côté et offrait par conséquent une section environ quatorze fois plus grande que la section commune des fils métalliques. J'étends la même remarque au charbon, que j'avais employé sous la forme de petits crayons fins de plombagine d'environ 1 millimètre de diamètre ou d'une section onze fois plus grande que les fils.

» Ces petits cylindres de charbon m'ont présenté un beau spectacle en les enfonçant dans une pâte un peu liquide de craie et de chlorure de sodium. Au pôle négatif, ils se disposaient en étincelles lancées avec grande force jusqu'à atteindre l'œil de l'observateur. Au pôle positif, le carbonate remontait le long du petit cylindre en même temps qu'il s'établissait dans la pâte tantôt quatre, tantôt trois hémisphères lumineuses tourbillonnantes sur une étendue d'environ 5 à 6 millimètres. »

Avant de passer à une nouvelle propriété de la lumière, nous donnerons place à la petite note suivante de M. Bertin, qui complète l'étude de l'action du magnétisme sur la lumière.

Après avoir longuement exposé l'état de la science, relativement à l'étude des rayons colorifiques, chimiques, phosphorogéniques, magnétiques, etc., nous arrivons, enfin, à une action de la lumière toute différente, et qu'on pourrait désigner sous le nom de physiologique.

Digitized by Google

DE L'ACTION DE LA LUMIÈRE SUR LES PLANTES. — RAYONS EXCITATEURS DE LA VÉGÉTATION.

La lumière exerce sur les plantes une action certaine et qui a été mise en évidence depuis très-long-temps.

1° Elle joue un rôle important dans le phénomène de la respiration. Sous l'influence des rayons solaires, les parties vertes dégagent de l'oxygène presque pur, ainsi que Priestley l'a démontré, et absorbe en même temps, dans l'atmosphère, l'acide carbonique qu'il renferme pour en assimiler le carbone. Soustraites à l'influence des rayons solaires, pendant la nuit, par exemple, où à l'ombre, ces mêmes parties vertes cessent de dégager de l'oxygène et versent dans l'atmosphère de l'acide carbonique. Dans l'obscurité comme sous l'influence des rayons directs du soleil, les parties colorées des plantes absorbent l'oxygène de l'atmosphère et rejettent une quantité un peu moins considérable d'acide carbonique.

2° La lumière active la propriété qu'ont les plantes de sucer l'eau avec laquelle on les met en contact. On prend trois plantes de même espèce, munies de feuilles de même grandeur et de même force ; on les met dans trois vases séparés et on les expose l'une à l'obscurité, l'autre à la lumière diffuse, et la troisième au soleil. La première aspire très-peu d'eau, la seconde plus, et la troisième davantage. Hall a encore démontré que les plantes vivantes augmentent de poids, pendant la nuit, par la raison qu'elles absorbent alors sans transpirer.

3° La lumière est l'agent principal de la coloration des parties vertes des végétaux. Plus une plante est exposée à la lumière, plus il se forme de matière verte ; moins elle est éclairée, plus elle est étiolée et blanche ou pâle. M. de Humboldt a verdi légèrement le *lepidum sativum* en l'exposant à la clarté de deux lampes ; M. de Candolle a bien mieux réussi avec six lampes d'Argant placées à 0 mèt. 33 centimèt. de distance de la plante.

4° L'apparition et la disparition de la lumière, le passage du jour aux ténèbres, et des ténèbres au jour, déterminent, sur la plupart des plantes, des mouvements ou changements de positions remarquables des feuilles ou des fleurs. Sous ces influences alternatives, un grand

Digitized by Google

nombre de plantes semblent présenter tous les caractères des phénomènes physiologiques que l'on a désignés sous le nom de sommeil ou de veille. En exposant des plantes dormeuses à la lumière d'un nombre suffisant de lampes, M. de Candolle est parvenu à changer en quelque sorte leurs habitudes : il a vu des sensitives s'épanouir la nuit, et des belles de nuit ouvrir leurs calices le jour.

5° Les tiges de la plupart des plantes tendent vers la lumière et se rejettent violemment du côté du plus grand jour.

6° Au contraire, les racines de certaines plantes fuient vers la lumière et cherchent l'obscurité.

7° La lumière semble exercer une action sensible sur la germination.

8° Enfin, les divers rayons dont se compose le spectre solaire agissent inégalement dans la production de ces divers phénomènes ou influences.

Après cet énoncé rapide et général des faits relatifs à l'action de la lumière sur les plantes, nous allons analyser le plus complétement et le plus brièvement possible les travaux modernes des physiciens sur cet important sujet.

TRAVAUX DE M. PAYER. — Premier mémoire. — *Sur la tendance des tiges vers la lumière.* — 25 décembre 1842.

1° Toutes les fois qu'on fait germer une plante, du cresson alénois, par exemple, sur du coton humide, dans un appartement éclairé par une seule fenêtre, ou dans une boîte à une seule ouverture, la jeune tige, au lieu de s'élever perpendiculairement au sol, comme cela lui arrive toujours à ciel découvert ou dans l'obscurité complète, s'incline vers la fenêtre en restant toujours droite et formant avec la verticale un angle d'un certain nombre de degrés.

2° Toutes les fois, au contraire, qu'on place dans cet appartement ou dans cette boîte une plante déjà née, et qui, ayant poussé dans l'obscurité complète ou à ciel découvert, est verticale, la jeune tige se courbe d'abord, puis s'incline vers la lumière, c'est-à-dire qu'il y a ici deux phénomènes successifs. Dans le premier, la partie inférieure de la tige est encore verticale, mais la partie supérieure est plus ou moins horizontale. Dans le second, la partie supérieure s'étant un peu redressée, et la partie inférieure légèrement inclinée, la

Digitized by Google

tige est redevenue droite, de courbe qu'elle était, et se trouve dirigée vers la lumière.

3° Pour que la plante se courbe ainsi du côté où vient la lumière, il n'est pas nécessaire, comme paraissent le penser MM. de Candolle et Dutrochet, que le point de courbure reçoive quelques rayons de cette lumière.

4° Cette courbure ne persiste point dans les jeunes tiges, lorsque la cause qui l'a produite vient à cesser.

5° 6° et 7°. Mais son intensité est loin d'être la même dans les diverses circonstances où l'on place les jeunes plantes.

Ainsi, on peut établir comme règle générale que la tendance des tiges vers la lumière est d'autant plus grande que cette lumière est moins intense ou qu'elle arrive de plus bas.

8° Le milieu dans lequel la plante se trouve n'a d'influence que sur la vitesse avec laquelle la courbure s'opère ; car, au sein des eaux comme dans une atmosphère d'azote ou d'hydrogène, la courbure finit toujours, avec des temps différents sans doute, par avoir le même degré, lorsque toutes les autres circonstances sont égales d'ailleurs.

9° Si, au lieu d'être placées dans une boîte à une seule ouverture, les jeunes plantes sont mises dans une boîte à deux ouvertures, et partant reçoivent l'action de la lumière dans deux directions différentes, des phénomènes non moins curieux se présentent.

Ces deux ouvertures peuvent se trouver sur le même côté de la boîte, de manière à ce que les rayons qu'elles laissent passer fassent entre eux un angle plus ou moins aigu, ou être placées l'une vis-à-vis de l'autre.

Dans le premier cas, lorsque l'intensité des deux lumières est égale, la tige se courbe dans la direction de la résultante. Mais lorsque cette intensité est inégale, soit au moyen d'ouvertures d'étendue différente, soit au moyen d'écrans à l'une des ouvertures, la tige ne se courbe plus dans la direction de la résultante, mais bien dans la direction de la lumière la plus forte.

On peut donc, à l'aide d'une jeune plante, déterminer en quelques heures, de deux lumières laquelle est la plus intense, de deux verres lequel est le plus transparent, et dans des circonstances données, on pourrait s'en servir comme d'un véritable photomètre.

10° Dans le second cas, c'est-à-dire lorsque les deux ouvertures

Digitized by Google

sont vis-à-vis l'une de l'autre sur des côtés opposés, l'intensité des deux rayons est-elle égale, la plante, sollicitée également de part et d'autre, ne se courb · ni d'un côté ni de l'autre. Cette intensité est-elle au contraire inégale, elle se courbe du côté de la plus grande lumière, à moins toutefois qu'il ne lui arrive des deux côtés une lumière suffisante, auquel cas elle ne se courbe point non plus, quoiqu'elle soit plus éclairée d'un côté que de l'autre.

11° Pour que tous ces phénomènes s'accomplissent, le concours des différentes parties dont la lumière se compose n'est point nécessaire.

Car de toutes les expériences, soit avec l'héliostat, soit avec des verres colorés et analysés, en procédant par élimination, il résulte que sous les rayons rouges, orangés, jaunes et verts, la plante se conduit comme dans l'obscurité complète, c'est-à-dire qu'elle ne se courbe jamais, tandis que sous les rayons bleus et violets, elle se courbe toujours.

12° Cette absence complète d'action dans certains rayons n'est point due à la nature de la substance colorante ou verte. Entre deux lumières traversant, l'une un écran d'eau et l'autre un écran d'essence de térébenthine, la plante s'est courbée dans la direction de la bissectrice, c'est à-dire qu'elle s'est comportée comme s'il n'y avait point eu d'écrans interposés.

Donc, pour le phénomène du mouvement au moins, la lumière chimique n'a aucune influence.

13° Comme la plante qui se trouve entre deux rayons lumineux d'intensités différentes se courbe toujours du côté de la lumière la plus grande, il a été facile de déterminer lequel, du bleu ou du violet, avait le plus d'influence, et M. Payer a toujours trouvé que c'était le bleu.

14° Enfin, comme la tige se courbe d'autant plus qu'il y a moins de lumière, il a pu facilement, à l'aide de plantes placées à divers endroits dans la chambre noire, s'assurer si l'obscurité était complète.

Tels sont les résultats principaux qu'il a obtenus ; quant aux appareils dont il s'est servi, il les décrit dans son mémoire, ainsi que la manière dont il a opéré pour arriver à ces résultats.

Ce mémoire a été l'objet d'un rapport très-favorable fait par M. Becquerel au nom d'une commission académique dont M. Du-

Digitized by Google

trochet faisait partie. L'Académie remercie M. Payer de sa communication, elle prend le plus grand intérêt aux faits intéressants qu'elle renferme, elle l'engage à continuer des recherches entreprises dans de si bonnes voies, en y apportant toute la précision et la rigueur désirables, et prenant en considération tous les faits récemment découverts concernant l'action chimique des rayons solaires; ces recherches ne peuvent manquer de le conduire à des découvertes importantes pour la physiologie végétale.

M. Dutrochet, auquel, quoique membre de la commission, M. Becquerel ne communiqua pas son rapport, sans doute parce qu'il était absent, a fait sur le mémoire de M. Payer des observations diffuses et minutieuses, il est vrai, quelquefois, mais souvent aussi importantes et fines. Analysons sa critique en le laissant parler :

« M. Payer ayant cité le Lepidium sativum, le cresson alénois, comme la plante qui lui a spécialement servi dans ses expériences, c'est par l'emploi de cette même plante que j'ai dû commencer. Tantôt j'ai placé dans mon appareil des plantules de Lepidium sativum que j'avais préalablement fait germer, soit à l'ombre, soit à ciel découvert; tantôt j'y ai fait germer des graines de cette même plante. Jamais je n'ai vu les tigelles de ces plantules offrir la moindre inflexion vers la lumière transmise par le verre rouge. Je les y ai laissées pendant huit jours; elles y ont pris un accroissement considérable en longueur, comme cela arrive généralement aux plantes qui ne reçoivent pas assez de lumière, mais elles sont demeurées droites et verticales. Mes observations ont ainsi confirmé pleinement celles que M. Payer a faites sur cette même plante.

» Pendant ces expériences, il arriva que dans l'un des vases où j'avais mis germer des graines de Lepidium sativum, il leva plusieurs graines d'une plante plus petite, graines qui se trouvaient accidentellement dans la terre. Les tigelles de ces nouvelles plantules se dirigèrent ou se fléchirent toutes vers la lumière transmise par le verre rouge, ce qui contrastait singulièrement avec le défaut complet d'inflexion des tigelles du Lepidium sativum qui les avoisinaient dans le même vase. Je ne pouvais reconnaître immédiatement quelle était cette nouvelle plante que le hasard venait d'offrir à mon observation. Je soupçonnai que c'était l'Alsine media, parce que cette plante se trouvait en grande quantité dans l'endroit où j'avais pris la terre qui m'avait offert l'apparition inattendue des plantules que je venais

Digitized by Google

d'observer. C'était le 1er août que j'avais fait cette observation, et je trouvai effectivement, et en abondance, des graines mûres sur les pieds d'Alsine media. Je recueillis ces graines et je les semai dans la terre contenue dans un petit vase. Au bout de quatre jours, par une température de + 20 à 22 degrés centésimaux, ces graines étaient germées, et dès le second jour après leur germination, il me fut facile de reconnaître la similitude des plantules avec celles que j'avais observées précédemment. Le troisième jour je les plaçai dans mon appareil; elles se fléchirent toutes vers la lumière transmise par le verre rouge, et cela dans l'espace de quatre heures, par une température de + 22 degrés centésimaux. Je retournai le vase de manière à diriger l'inflexion des tigelles vers le fond de l'appareil. Il était alors midi. Quatre heures après, les tigelles s'étaient retournées et s'étaient de nouveau fléchies vers la lumière transmise par le verre rouge.

» D'où pouvait provenir la différence qui existait à cet égard entre la tigelle de l'Alsine media et celle du Lepidium sativum? La première chose qui me frappa, en recherchant la cause de ce phénomène, ce fut la différence de la grosseur de la tigelle de ces deux plantes. Les tigelles du Lepidium sativum, le troisième jour après la germination, m'ont offert huit dixièmes de millimètre de diamètre; leur longueur était de 12 millimètres; les tigelles de l'Alsine media, dans les mêmes circonstances, ne m'ont offert que quatre dixièmes de millimètre sur une longueur de 10 millimètres; elles sont ainsi de moitié moins grosses que les tigelles du Lepidium sativum. Je fus porté à penser, par cette observation, que la grande exiguité du diamètre des tigelles de l'Alsine media était la condition essentielle de leur inflexion vers la lumière rouge, inflexion qui n'était point offerte par les tigelles de Lepidium sativum, en raison de leur grosseur plus considérable, ce qui entraînait leur moindre flexibilité. Pour savoir si ce soupçon était fondé, il me fallait soumettre aux mêmes expériences d'autres plantes nouvellement nées et dont les tigelles auraient, les unes, des diamètres plus petits que celui que possède la tigelle du Lepidium sativum, et les autres des diamètres égaux ou supérieurs à celui de la tigelle de cette dernière plante. »

M. Dutrochet soumit donc à l'expérience un grand nombre de plantes dont les tigelles variaient en diamètre depuis 80 jusqu'à 20 centièmes de millimètre; il poursuit ainsi :

« Ces faits prouvent, d'une manière irréfragable, que c'est en vertu

Digitized by Google

de l'exiguité de leur diamètre, et non en vertu de leur nature particulière, que les sept dernières plantes de mon tableau se sont fléchies vers la lumière rouge, et que c'est seulement parce que leurs tigelles étaient trop grosses que les quatre premières plantes n'ont offert aucune inflexion vers cette même lumière rouge. Ainsi il suffit qu'il y ait seulement un dixième de millimètre de différence entre le diamètre d'une tigelle et celui d'une autre de la même espèce, et cela vers une certaine limite, pour que l'une se fléchisse et que l'autre ne se fléchisse pas vers la lumière dans les expériences que je viens d'exposer. Cette différence se réduirait même à moitié, ou à 5 centièmes de millimètre, en considérant que les deux mercuriales dont les tigelles avaient 60 centièmes de millimètre de diamètre ne se sont point fléchies vers la lumière rouge, tandis que cette flexion a eu lieu chez le Trifolium agrarium, dont la tigelle avait 55 centièmes de millimètre de diamètre.

» L'Alsine media est la plante chez laquelle l'inflexion vers la lumière rouge a été la plus rapide; elle s'est effectuée dans l'espace de quatre heures, par une température de + 23 à + 24 degrés centésimaux. Chez les autres plantes, cette inflexion a mis de six à huit heures à s'opérer.

» Mes expériences prouvent que les tiges des plantes s'infléchissent vers la lumière rouge transmise sans mélange d'autres rayons par un verre de cette couleur. Les expériences de M. Payer ont prouvé qu'elles s'infléchissent vers la lumière bleue ou violette, transmises également seules par des verres de l'une et de l'autre de ces deux couleurs. Cette propriété appartenant ainsi aux rayons colorés extrêmes du spectre solaire, il me paraît certain qu'elle doit appartenir aussi aux rayons colorés moyens de ce spectre, c'est-à-dire à la lumière orangée, jaune et verte, qui serait transmise par des verres de ces trois couleurs. »

Ici M. Dutrochet soulève un doute qui, s'il pouvait être admis, renverserait de fond en comble une partie du travail de M. Payer :

« Est-ce en vertu d'une qualité spéciale que les rayons rouges, bleus et violets, transmis par des verres de ces trois couleurs, ont déterminé l'inflexion de ces tiges végétales? Ne serait-ce point plutôt en vertu de leur intensité lumineuse, intensité qui doit être variable suivant la transparence des verres?

» Si, dans les expériences de M. Payer, la lumière transmise par le

Digitized by Google

verre violet qu'il a employé a eu moins de puissance que la lumière transmise par son verre bleu, pour déterminer l'inflexion des tiges végétales, cela provient, je le pense, de ce que dans les verres qui ont servi à ses expériences, il y a eu plus de lumière bleue transmise par son verre bleu, qu'il n'y a eu de lumière violette transmise par son verre violet. Si les verres des autres couleurs qu'il a employées n'ont point transmis une lumière capable de produire l'inflexion des tiges végétales, cela provient, à mon avis, de ce que ces verres ne transmettaient point une lumière assez intense, et de ce que les tiges végétales qu'il soumettait à l'expérience, possédant un trop fort diamètre, n'étaient point assez flexibles.

» Ce pouvoir colorant est au maximum dans les rayons bleus, verts et jaunes qui occupent la partie moyenne du spectre solaire. On le voit diminuer, d'une part, dans les rayons indigo, et, d'une autre part, dans les rayons orangés : il est au minimum dans les rayons violets et dans les rayons rouges qui occupent les deux parties extrêmes du spectre solaire. On peut s'assurer de ce fait en plaçant dans le spectre solaire des objets que leur petitesse rend difficiles à bien voir. Leur perception est plus facile lorsqu'ils sont éclairés par les rayons qui occupent les parties moyennes du spectre solaire, que lorsqu'ils sont éclairés par les rayons qui occupent les deux parties extrêmes de ce spectre. Il doit résulter de là que les rayons bleus, verts et jaunes, doivent avoir la propriété de déterminer l'inflexion des tiges végétales à un plus haut degré que ne l'ont les autres rayons colorés qui se rapprochent des parties extrêmes du spectre solaire. L'expérience, j'en suis convaincu, confirmera cette prévision ; mais il faudra se tenir en garde contre les déceptions qu'elle pourra présenter, et tenir compte surtout du diamètre des tiges végétales qui seront soumises à des expériences, puisque ce diamètre, suivant son étendue plus ou moins grande, pourrait déterminer, tantôt des résultats négatifs, tantôt des résultats positifs.

» Le sommeil et le réveil des fleurs ont eu lieu derrière mon verre rouge. J'ai fait ces expériences à la lumière diffuse sur les plantes suivantes : *Leontodon taraxacum*, *Hyeracium sylvaticum*, *Bellis perennis*, *Campanula speculum*. Les tiges de ces plantes étaient plongées dans l'eau par leur base. J'ai observé de la même manière le sommeil et le réveil des feuilles du pourpier, *Portulacca oleracea* ; la plante était jeune et enracinée. Ces expériences ont

Digitized by Google

été faites par des températures de + 20 à 22 degrés centésimaux.

» Je terminerai en faisant observer que les tiges des plantes qui reçoivent la lumière transmise par des verres colorés s'allongent beaucoup plus qu'elles ne le feraient sous l'influence de la lumière ordinaire. Cet effet, qui a lieu, quelle que soit la coloration du verre, même lorsqu'il transmet d'autres rayons que ceux de sa propre coloration, cet effet, dis-je, prouve que ces plantes éprouvent toujours dans ce cas de l'étiolement, et que, par conséquent, leur émanation aqueuse naturelle est diminuée, ainsi qu'elle l'est toujours lorsque la lumière est insuffisante. »

M. Payer ne pouvait pas laisser sans réponse les observations peu bienveillantes de M. Dutrochet : les faits qu'il oppose aux doutes de son illustre contradicteur jettent un grand jour sur cette difficile question.

1° Il a fait germer les plantes suivantes : *Alsine media*, *Papaver Rhœas*, *Papaver somniferum*, *Agrostemma cœli Rosa*, *Avena flavescens*, *Agrostis læmantha*, *Spergula arvensis*, *Œthionema saxatile*, *Medicago lupulina*, dans trois boîtes éclairées, la première du verre rouge à lumière homogène, la deuxième d'un autre verre rouge qui laissait passer, outre la lumière rouge, quelques-uns des rayons d'une réfrangibilité différente, la troisième enfin d'un verre bleu beaucoup plus foncé que les deux autres.

Les résultats de ces expériences furent les suivants : Dans la première boîte, éclairée par une lumière rouge pure, aucune tige ne se courba vers cette lumière ; dans la deuxième, éclairée par la lumière rouge légèrement mélangée de lumière d'une autre réfrangibilité, il y en eut qui s'infléchirent et d'autres qui restèrent droites. Celles qui s'infléchirent furent : *Alsine media*, *Papaver Rhœas*, *Papaver somniferum*, *Agrostemma*, *cœli Rosa*, *Œthionema saxatile*, *Medicago lupulina*. Celles qui restèrent droites sont : *Avena flavescens Agrostis læmantha*, *Spargula arvensis*.

L'*Avena flavescens* et l'*Agrostis læmantha* avaient un diamètre bien inférieur à celui de l'*Œthionema saxatile* et du *Medicago lupulina*, et cependant elles restèrent droites, tandis que ces dernières se courbèrent. Ce n'est donc pas seulement, comme le pense M. Dutrochet, la grosseur de la tige qui influe sur ces phénomènes... La nature de la plante, la solidité de son tissu, sa croissance plus ou moins ra-

Digitized by Google

pide, etc., influent également sur cette faculté plus ou moins grande de se courber vers la lumière.

Quant à l'objection relative à l'influence de l'intensité de la lumière, M. Payer répond invinciblement en montrant le verre violet et le verre bleu avec lesquels il avait opéré. A travers le verre violet on peut lire, et le verre bleu est tellement foncé, qu'on ne peut distinguer nettement les objets.

« Est-il permis, ajoute-t-il, de conclure l'influence des rayons moyens du spectre de celle des rayons extrêmes, en présence des nombreuses expériences physiques de toute nature qui prouvent au contraire que les rayons de réfrangibilités différentes sont également différents quant à leurs propriétés calorifiques, chimiques et même électriques?

SECOND MÉMOIRE. *Sur la tendance des racines à fuir la lumière.* 27 mai 1844.

« Le phénomène si connu de la tendance des tiges vers la lumière, et sur lequel j'ai eu l'honneur de présenter un premier mémoire à l'approbation de l'Acacémie, a pour contre-partie un autre phénomène qui avait totalement échappé, jusqu'à présent, aux recherches des physiologistes, et que je désigne sous le nom de tendance des racines à fuir la lumière.

» Pour le constater, rien de plus facile. Il suffit, dans une chambre éclairée par une seule fenêtre, de faire germer des graines de chou et de moutarde blanche sur du coton flottant dans un vase en verre rempli d'eau. En même temps que les tiges s'inclinent toutes vers la lumière, les racines plongées dans l'eau se courbent en sens inverse comme si elles fuyaient cette lumière; de façon que les jeunes plantes représentent alors assez bien chacune la figure d'un S.

» Pour les deux plantes que je viens de citer, c'est-à-dire le chou et la moutarde blanche, aussi bien que pour beaucoup d'autres, ce phénomène se manifeste toujours, qne ce soit de la lumière diffuse ou les rayons directs du soleil qui pénètrent dans l'appartement.

» Mais il en est d'autres, telle que le *sedum telephium*, chez lesquelles une lumière diffuse ordinaire, bien qu'agissant fortement et avec succès sur les tiges pour les faire courber vers elle, n'a cepen-

Digitized by Google

dant aucune influence sur les racines, qui restent droites et qui ne fuient en effet que les rayons directs du soleil.

» Dans d'autres enfin, comme le cresson alénois, les rayons directs du soleil aussi bien que la lumière diffuse sont sans action sur les racines : je ne les ai jamais vues dévier de la perpendiculaire en aucune façon.

» Il y a donc des plantes dont les racines fuient la lumière directe du soleil et la lumière diffuse, d'autres la lumière directe du soleil seulement, d'autres enfin ni l'une ni l'autre. Par conséquent, les racines sont de capacité différente pour la lumière, si je puis m'exprimer ainsi, suivant la nature des plantes elles-mêmes.

» De ces faits résultent nécessairement les conséquences suivantes, qui, du reste, ont été vérifiées directement par des expériences précises :

» 1° L'angle d'inclinaison formé avec la verticale par la racine qui s'infléchit est différent de l'angle d'inclinaison formé en sens inverse par la tige avec la même verticale.

» 2° Il est toujours plus petit, c'est-à-dire que la courbure de la tige vers la lumière est toujours plus grande que la courbure de la racine en sens contraire.

» 3° Plus la lumière est intense, et plus cet angle d'inclinaison es considérable.

» Pour constater cette dernière conséquence, j'ai reçu sur une lentille le rayon de lumière pénétrant dans la chambre noire, et j'ai placé les plantes que je voulais soumettre à l'expérience à des distances différentes du foyer. Il est évident que celles qui furent le plus éloignées furent moins éclairées que celles qui furent le plus rapprochées, et cependant ce sont ces dernières dont les racines se sont courbées davantage.

» Mais toute la lumière concourt-elle à l'inclinaison de ces racines, ou n'est-ce qu'une ou plusieurs parties du spectre ?

» Toutes les expériences faites au moyen d'un spectre rendu fixe à l'aide d'un héliostat m'ont conduit aux résultats suivants :

» 1° Il n'y a que la partie du spectre comprise entre les raies F et H qui agisse sur les racines pour les faire fuir.

» 2° Les différents points de cette partie du spectre comprise entre les raies F et H n'agissent point tous avec la même intensité.

» 3° Il y a, par conséquent, toujours un point où a lieu le maximum

Digitized by Google

d'action, et l'inclinaison est d'autant moins grande qu'on s'écarte plus de ce point.

» 4° Le point maximum est variable pour les différentes plantes.

» 5° Chose digne de remarque, le point où les racines se courbent le plus est aussi celui où les tiges s'inclinent le plus ; c'est-à-dire que le point maximum d'action est le même pour les racines et les tiges d'une même plante.

» Cette action de la lumière sur les tiges et les racines a, sans aucun doute, comme nous le montrerons du reste bientôt, une grande influence sur la tendance des tiges vers le ciel et des racines vers la terre.

» Quant à la cause par laquelle la même espèce de lumière produit sur la tige et la racine des effets si différents, je demande à l'Académie la permission d'user de la même réserve que dans mon premier mémoire.

» Je ne terminerai pas toutefois sans rappeler que, si l'on fait l'expérience de manière à ce qu'il n'y ait que la tige soumise à l'action directe de la lumière, cette tige se courbe seule, et la racine reste droite. On ne peut donc pas supposer ici, comme on l'a fait pour la tendance des racines vers le centre de la terre, une espèce de polarité qui ferait que la tige s'inclinant vers la lumière, la racine devrait, par cela seul, s'infléchir en sens inverse. »

Cette fois, c'est M. Dutrochet qui, pleinement réconcilié avec M. Payer, a fait à l'Académie le rapport sur ce second mémoire. Nous en extrairons les passages qui contiennent quelques faits nouveaux :

« La tendance qu'affectent certaines parties des végétaux à fuir la lumière est connue depuis longtemps, puisque c'est en 1812 que M. Knigt l'a annoncée au monde savant, dans un mémoire inséré aux *Transactions philosophiques*. Il avait constaté cette tendance à fuir la lumière dans les vrilles de plusieurs végétaux grimpants. Malgré les assertions de cet habile observateur, cette tendance de certaines parties des plantes à fuir la lumière demeura douteuse dans l'opinion de tous les physiologistes, jusqu'en janvier 1822, époque à laquelle M. Dutrochet fit connaître le fait de la tendance de la radicule du gui à fuir la lumière. Cette radicule, comme celle de toutes les graines en germination, se compose de deux parties, savoir : du premier méri-

Digitized by Google

thalle de la tige, et de la racine naissante. Ce sont ces deux parties qui forment, dans toutes les graines en germination, le caudex descendant.

» Il constata que la tendance à fuir la lumière existait dans la première de ces deux parties constituantes de ce que l'on nomme la radicule, c'est-à-dire dans le premier mérithalle de la tige du gui ; l'état rudimentaire de la racine naissante ne lui permit pas de voir si elle tendait aussi à fuir la lumière, direction dans laquelle elle semblait portée d'une manière passive par la flexion du premier mérithalle de la tige ou du mérithalle radiculaire. Plus tard, en février 1833, M. Dutrochet communiqua à l'Académie des Sciences une observation touchant une racine aérienne de Pothos digitata qui lui avait offert le phénomène de fuite de la lumière; mais il regarda comme exceptionnel ce phénomène, alors unique dans la physiologie végétale, d'une véritable racine qui fuit la lumière. Tel était l'état de la question sur ce point de la physiologie végétale lorsque M. Payer en fit l'objet de ses recherches.

» Le premier qui ait étudié l'action de certains rayons du spectre solaire sur la direction ou la flexion des tiges est le docteur Poggioli, dont le travail a été publié dans les *Opuscules scientifiques* de Bologne (tome I, page 9). Ce physicien soumit aux rayons rouges et aux rayons violets du spectre solaire des plantules de *Raphanus rusticanus* et de *Brassica oleracea viridis*, dans les premiers temps qui avaient suivi la germination. Il vit ces jeunes plantes diriger la face supérieure de leurs feuilles vers le prisme, c'est-à-dire vers la lumière violette d'une part, et vers la lumière rouge d'une autre part, ce qui attestait la flexion des tiges vers ces mêmes lumières. Il estima que l'énergie de l'influence exercée sur ces plantes par les rayons violets était à celle des rayons rouges comme trois est à un. Il a restreint ses expériences à l'emploi des deux rayons extrêmes du spectre solaire, parce que, dépourvu d'héliostat, il était réduit à déplacer à la main les vases qui contenaient ses plantes pour suivre le spectre dans son déplacement continuel.

» Depuis le docteur Poggioli, dont le mémoire a été publié en 1817, jusqu'au 26 décembre 1842, qu'a été présenté à l'Académie des Sciences le mémoire de M. Payer, aucun travail n'a paru ayant pour objet l'étude de l'influence des rayons colorés du spectre solaire sur la flexion des tiges.

Digitized by Google

» Depuis ce temps, le docteur Gardner, de New-York, a fait paraître dans le numéro de janvier 1844 du *London, Edinburg and Dublin Philosophical Magazine*, un mémoire fort important sur ce même sujet. Un extrait de ce mémoire a été inséré au numéro de février 1844 de la Bibliothèque universelle de Genève.

» En soumettant un semis de turneps au spectre solaire fixé par un héliostat, le docteur Gardner a vu que ces jeunes tiges tendent à se courber dans deux sens différents : 1° elles tendent à se courber vers le prisme ou vers la lumière, et cela sous l'influence de tous les rayons colorés du spectre solaire ; 2° elles tendent à se courber vers l'espace qui est éclairé par les rayons indigo, en sorte que les plantes éclairées par les rayons rouges, orangés, jaunes, verts et bleus, d'une part, s'inclinent vers l'espace éclairé par les rayons indigo, tandis que d'une autre part, les plantes éclairées par les rayons violets s'inclinent vers ce même espace éclairé par les rayons indigo. Dans cette expérience, le semis prend ainsi l'apparence d'un champ de blé couché par deux vents opposés. Les plantes éclairées par les rayons indigo n'offrent qu'une seule de ces tendances à la flexion, celle qui les dirige vers le prisme ou vers la lumière; les plantes éclairées par tous les autres rayons colorés du spectre solaire étant soumises à deux tendances à la flexion dans deux sens dont la direction se croise à angle droit, suivent la résultante; leur inclinaison latérale, ou suivant le sens de la longueur disposée horizontalement du spectre solaire, diminue à mesure que les plantes sont plus rapprochées de l'indigo. La raie indigo de Frannhofer, le docteur Gardner ne la désigne pas autrement, serait le centre ou l'axe vers lequel tendent de part et d'autre les tiges infléchies. Le docteur Gardner conclut de ces expériences que la force qui produit l'inflexion des tiges selon la longueur du spectre solaire réside dans le rayon indigo. Pour ces expériences, les plantes étiolées sont préférables aux plantes vertes, elles sont plus faciles à fléchir ; il ne faut qu'une à deux heures pour que ces phénomènes se manifestent; on les observe également en se servant de la lumière de la lune.

» D'après ces expériences, la propriété d'opérer la flexion des tiges végétales vers la lumière, propriété que M. Payer n'accorde qu'aux rayons bleus et violets du spectre solaire, se trouverait appartenir à tous les rayons colorés de ce spectre; mais le docteur Gardner n'a pas tenu compte de l'influence qu'exerce sur la flexion des tiges la

Digitized by Google

lumière diffuse qui accompagne toujours le spectre solaire. Quant au fait de la flexion des tiges végétales dans le sens de la longueur disposée horizontalement du spectre solaire, et en sens inverse, de chaque côté de l'espace éclairé par les rayons indigo, il a échappé complétement à M. Payer.

» Ces curieuses expériences méritaient d'être répétées, et nous nous sommes empressés de le faire. Pour cet effet, nous avons fait faire des vases de verre ou petites cuves de la forme d'un parallélipipède, longues de 50 millimètres, larges de 30 millimètres, profondes de 50 millimètres, et formées avec des lames d'un verre bien plan, assemblées avec de la glu marine. Ces vases étant remplis d'eau, on mettait sur la surface de celle-ci des lames de liége très-minces, lesquelles étaient percées chacune de dix petits trous dans chacun desquels on plaçait la radicule naissante d'une graine de moutarde blanche. Nous avons choisi cette plante comme étant celle dont les jeunes tiges et surtout les jeunes racines nous ont paru posséder au degré le plus convenable, nous ne disons pas le plus grand, la faculté d'obéir aux diverses tendances à la flexion sous l'influence de la lumière. Les jeunes tiges de pavot, par exemple, se fléchissent avec trop de facilité vers la lumière pour offrir convenablement le second phénomène de flexion qui a été découvert par le docteur Gardner.

» Suivant la recommandation du docteur Gardner, nous avons constamment fait développer nos petites plantes à une très-faible lumière venant de haut en bas, afin, d'une part, de leur donner un commencement d'étiolement qui les rend plus sensibles à l'action fléchissante de la lumière, et d'une autre part, afin de leur conserver la position verticale. Voici comment nous avons procédé pour les soumettre à l'influence des rayons colorés du spectre solaire.

» Nous nous sommes servis de l'héliostat inventé par M. Silbermann aîné, et exécuté par M. Soleil. Nous devons dire ici que nous avons eu extrêmement à nous louer de l'usage de cet héliostat, dont l'inventeur a rendu un véritable service aux physiciens, en leur procurant un instrument de cette nature, à la fois simple et exact, en même temps qu'il est peu coûteux.

» Le rayon solaire était transmis au prisme par une ouverture ordinairement allongée dans le sens vertical et d'une largeur variable.

» Le prisme employé était du plus pur flint-glass.

Digitized by Google

» Le spectre était toujours produit par le minimum de déviation.

» Le rayon solaire étant reçu sur le prisme placé dans une situation verticale, le spectre se trouvait placé horizontalement dans le sens de sa longueur. C'est dans ce spectre horizontal que nous placions la série de nos vases dans lesquels étaient nos plantules, et cela lorsque leurs tiges avaient acquis une longueur de 20 à 40 millimètres. En deçà ou au delà de cette longueur, elles étaient peu propres aux expériences.

» Les plantes étaient placées à 6 mètres 5 déc. du prisme. A cette distance, le spectre solaire horizontal avait environ 25 centimètres de longueur.

» Nous placions des vases munis de leurs plantes au delà et de chaque côté des deux extrémités du spectre solaire, mais surtout du côté du violet, parce que c'est de ce côté que nous avons observé que se prolongeait spécialement, au delà du spectre solaire, l'action qui fléchissait vers le prisme les tiges végétales. Voici les résultats que nous avons obtenus dans nos nombreuses expériences, toutes faites par des températures de + 15 à 22 degrés centésimaux.

» Le premier mouvement que l'on observe dans les tiges végétales est celui de leur flexion vers le prisme, c'est-à-dire vers la lumière; ce mouvement de flexion a toujours commencé à se manifester dans les tiges soumises aux rayons violets; nous n'avons jamais observé d'exception à cet égard. Le mouvement de flexion vers le prisme se montre ensuite dans les tiges soumises aux rayons indigo et bleus, et ordinairement en même temps dans les rayons lavande qui forment la continuation presque invisible du spectre au delà du violet. On voit ensuite les tiges situées dans les rayons jaunes et verts se fléchir, puis vient la flexion dans les rayons orangés. Les tiges situées dans les rayons rouges se fléchissent les dernières. Pendant ce temps, la flexion des tiges situées au delà du violet se manifeste jusqu'à une distance qui, selon l'intensité de la lumière, va jusqu'à 20 et même quelquefois jusqu'à 30 centimètres au delà de la limite du violet. Ce n'est que dans le cas où le faisceau lumineux, tombant sur le prisme, a une grande intensité, qu'on observe la flexion des tiges situées au delà des rayons rouges, et cela jusqu'à une distance qui, au maximum, s'est étendue jusqu'à 10 centimètres au delà de ces rayons. Ainsi, la flexion des tiges vers le prisme ou vers la lumière s'étend

Digitized by Google

fort peu au delà des rayons rouges, tandis qu'elle s'étend fort loin au delà des rayons violets.

» Lorsque l'intensité lumineuse des rayons solaires qui tombent sur le prisme est affaiblie, soit par la grande exiguité de l'ouverture du porte-lumière, soit parce que l'atmosphère a notablement perdu de sa transparence, alors la flexion des tiges vers le prisme, flexion qui commence toujours dans les rayons violets, ne s'étend plus aussi loin de part et d'autre de ces rayons. Ainsi, nous avons vu, dans plusieurs de ces cas, cette flexion vers le prisme ne pas atteindre les tiges éclairées par les rayons orangés et rouges et ne s'étendre que peu au delà de l'extrémité violette du spectre. Nous avons vu, dans les cas de grand affaiblissement de l'intensité lumineuse du spectre, la flexion des tiges, commençant toujours dans les rayons violets, ne s'étendre d'une part dans le spectre que dans les rayons indigo et dans une partie des rayons bleus, et d'une autre part, dans les rayons lavande. C'est très-probablement pour n'avoir expérimenté qu'avec des spectres produits par des faisceaux de rayons solaires extrêmement exigus, et par conséquent pourvus de très-peu d'intensité lumineuse, que M. Payer a vu la flexion des tiges ne s'opérer que dans les rayons violets, indigo et bleus.

» Nous avons jusqu'ici laissé de côté le phénomène de la flexion latérale, découvert par le docteur Gardner, phénomène qui ne commence à se manifester qu'une demi-heure ou même une heure après la manifestation de la flexion des tiges vers le prisme dans les rayons violets. Cette flexion latérale, ou selon la direction de la longueur du spectre solaire, commence toujours par les tiges situées dans les rayons jaunes, et elle y précède même souvent la flexion vers le prisme ou vers la lumière. Alors on voit ces tiges se fléchir exclusivement du côté de l'espace éclairé par les rayons verts: un peu plus tard, lorsque la tendance à la flexion vers le prisme se manifeste dans les tiges situées dans les rayons jaunes, elles cessent d'être fléchies exclusivement selon la direction de la longueur du spectre solaire; elles suivent obliquement la résultante des deux tendances rectangulaires qui les sollicitent à la flexion. Les tiges situées dans les rayons orangés et dans les rayons verts voisins des jaunes ne tardent pas à prendre cette même flexion latérale oblique; elle se manifeste ensuite sur les tiges situées dans les rayons

Digitized by Google

rouges, puis en dernier lieu dans le reste des rayons verts et dans les rayons bleus qui les avoisinent. Dans les rayons indigo, les tiges demeurent exclusivement fléchies vers le prisme. Ce n'est qu'environ une heure après que les tiges situées dans les rayons jaunes ont commencé à se fléchir latéralement, que les tiges situées dans les rayons violets depuis longtemps fléchies vers le prisme commencent à prendre une flexion latérale qui est en sens inverse de celle que possèdent déjà toutes les tiges situées dans les rayons rouges, orangés, jaunes, verts et bleus : elles se fléchissent alors obliquement vers les tiges situées dans les rayons indigo, tiges qui conservent invariablement leur flexion vers le prisme. Nous n'avons jamais vu les tiges situées dans les rayons lavande offrir cette flexion latérale, qui, cependant, y a été observée par le docteur Gardner. Ainsi ce sont les rayons indigo qui sont le centre vers lequel tend de part et d'autre la flexion latérale des tiges soumises au spectre solaire.

» Bien que ce soit l'espace éclairé par les rayons indigo que l'on doive considérer comme le centre naturel de la double flexion latérale des tiges végétales qui sont soumises au spectre solaire, il arrive cependant quelquefois que ce centre se trouve placé ailleurs. Ainsi il nous est arrivé une fois de voir ce centre placé au milieu du violet ; alors les tiges qui se trouvaient placées dans la moitié des rayons violets voisins des rayons indigo, les tiges placées dans ces rayons indigo eux-mêmes, et dans tous les autres rayons colorés jusqu'à l'extrémité rouge du spectre solaire, ces tiges, dis-je, étaient toutes fléchies latéralement du côté de l'extrémité violette du spectre, tandis que les tiges qui étaient situées dans les rayons violets extrêmes étaient latéralement fléchies en sens contraire. Une autre fois nous avons observé que la flexion latérale des tiges se rapportait à deux centres : l'un faiblement marqué, situé, comme précédemment, dans le milieu des rayons violets ; l'autre, très-fortement marqué, situé dans le milieu des rayons verts. Nous devons dire que, dans cette dernière expérience, nous avions fait tomber sur le prisme un très-gros faisceau de rayons solaires : il était transmis par une ouverture circulaire de 12 millimètres de diamètre. Dans tous les cas où nous avons transmis la lumière au prisme par une ouverture allongée verticalement, et dont la largeur n'excédait pas 3 à 4 millimètres, nous avons toujours observé le centre de la flexion

Digitized by Google

latérale des tiges dans l'espace éclairé par les rayons indigo, ainsi que l'a annoncé le docteur Gardner.

» Il résulte de ces expériences que les tiges végétales soumises aux rayons colorés du spectre solaire subissent l'influence de deux causes différentes de flexion : l'une qui tend à les fléchir vers le prisme ou vers la lumière, et s'étend aux tiges placées sur la prolongation du spectre, surtout du côté de son extrémité violette ; l'autre qui tend à les fléchir dans le sens de la longueur du spectre, et cela dans deux sens opposés, en sorte qu'il y a un centre de convergence occupant le plus souvent tout l'espace qui est coloré par les rayons indigo. Ainsi ce centre n'est pas un point, ni une raie du spectre, comme le dit le docteur Gardner. Jamais nous n'avons vu cette flexion latérale dépasser les rayons violets d'une part, et les rayons rouges d'une autre part; elle ne se manifestait point du tout lorsque l'intensité lumineuse était faible.

» Ce ne sont pas les seuls rayons colorés du spectre solaire qui agissent sur les plantes dans ces expériences ; ils sont accompagnés par une quantité assez notable de lumière diffuse blanche...

» Les tiges végétales soumises à l'influence d'un spectre très-pur nous montrèrent tous les phénomènes de flexion que nous avions observés précédemment en employant des spectres qui n'étaient point purgés de la lumière diffuse réfléchie par l'atmosphère; nous vîmes ces tiges opérer leur flexion dans ses deux modes : l'un direct ou vers la lumière, l'autre latéral ou selon la longueur du spectre...

» De ce qu'il est impossible que le spectre solaire ne soit pas accompagné par de la lumière blanche diffuse, il résulte qu'au dehors de ce spectre, cette lumière diffuse doit opérer la flexion des tiges végétales. C'est effectivement ce que nous avons observé en plaçant des vases garnis de leurs plantules à des hauteurs diverses au-dessus et au-dessous du spectre solaire horizontal. Nous avons vu, dans ce cas, les tiges se fléchir vers le prisme, c'est-à-dire vers la lumière, et cela même lorsque la lumière réfléchie par l'atmosphère était éliminée. La lumière réfléchie par le prisme suffisait pour produire cet effet. Mais, comme on le pense bien, nous n'avons jamais observé, dans ce cas, de flexion latérale.

» Quelle est la cause de la flexion latérale des tiges dans les expé-

Digitized by Google

riences dont il est ici question ? Ce qu'il y a de plus simple à supposer est ce qui est admis implicitement par le docteur Gardner, qui, en disant que, lors de leur flexion latérale, ces tiges sont fléchies vers les rayons indigo, veut dire que leur flexion est dirigée vers le lieu où ces rayons indigo sont réfléchis par les corps qui sont éclairés par cette partie du spectre. C'est par suite de la même idée qu'il regarde l'ascension verticale des tiges comme produite par la tendance qu'elles auraient à se diriger vers les rayons bleus qui sont réfléchis de toutes parts par l'atmosphère. Cette explication paraît aussi naturelle qu'elle est simple, et cependant elle est bien loin de rendre raison de tous les phénomènes que présente cette flexion latérale.

» La flexion des tiges vers le prisme ou vers la lumière dépend à la fois de l'action spéciale des rayons colorés du spectre et de l'action de la lumière diffuse qui accompagne nécessairement le spectre. Il n'est pas douteux que les rayons violets, indigo et bleus n'aient ici une action spéciale à laquelle s'ajoute l'action de la lumière diffuse ; mais en est-il de même par rapport aux autres rayons colorés du spectre ? par exemple, la flexion des tiges vers le prisme, lorsqu'elles sont éclairées par les rayons rouges, est-elle en partie un résultat de l'action de ces rayons, ou doit-elle être attribuée à la seule lumière diffuse dont il est impossible de priver le spectre ? Il n'y avait qu'un seul moyen de résoudre cette question, et nous l'avons mis en usage.

» Nous avons pris un verre rouge qui, recevant un rayon solaire, ne transmettait que des rayons rouges. Nous l'avons analysé avec le plus grand soin par le prisme, pour nous assurer de ce fait. De jeunes tiges de moutarde blanche, placées derrière ce verre, qui recevait la lumière solaire, se courbèrent vers la lumière rouge pure qu'il transmettait. Pour avoir, s'il était possible, encore plus de certitude relativement à ce fait, nous fîmes tomber sur un prisme un faisceau de rayons rouges que transmettait ce verre éclairé par la lumière solaire réfléchie sur lui par le miroir de l'héliostat. Si ce faisceau lumineux eût contenu des rayons autres que des rayons rouges, et qui eussent été capables d'opérer la flexion des tiges, tout en étant trop faibles pour être sensibles à l'œil, ces rayons, plus réfrangibles que les rouges, en auraient été séparés par le prisme, en sorte que ces derniers seraient demeurés parfaitement purs. Le fait est que, dans cette expérience, il n'y eut pas la plus légère apparence de spectre

Digitized by Google

solaire : on vit seulement une aire circulaire rouge. De jeunes tiges de moutarde blanche, placées dans cette aire de lumière rouge pure, se courbèrent vers le prisme ou vers la lumière rouge, les premières au bout d'une heure, et les dernières au bout de deux heures et demie. Ce qu'il y eut de très-remarquable, c'est qu'il y eut ici une flexion générale latérale vers l'espace qui, dans l'état ordinaire, aurait dû être occupé par les autres rayons colorés du spectre, desquels pas un n'existait. Deux expériences semblables nous ont offert les mêmes résultats. Ainsi les rayons rouges purs ont le pouvoir de produire la flexion des tiges végétales vers eux, et, lorsqu'ils ont traversé un prisme, on voit, sous leur influence, les tiges présenter en outre une flexion latérale qui, par sa combinaison avec la flexion directe vers la lumière rouge, donne lieu à une flexion suivant la résultante de ces deux tendances. Nous ferons remarquer que l'aire circulaire formée par la lumière rouge foncée et pure qui, transmise par notre verre rouge, avait traversé le prisme, offrait peut-être une teinte un peu moins foncée au côté de cette aire où devaient se trouver les rayons rouges les plus réfrangibles. Nous devons ajouter qu'il y avait auprès de l'aire circulaire rouge, et du côté où, dans l'état ordinaire, auraient dû se trouver les autres rayons colorés du spectre, des tiges semblables à celles qui étaient dans cette aire circulaire rouge, et qu'elles n'offrirent pas la plus légère inflexion.

» Il nous restait à examiner l'action du spectre solaire sur les racines. Nous avons dit que nos jeunes plantes de moutarde blanche étaient plantées dans des trous fort petits, faits à des lames minces de liége qui flottaient sur l'eau qui remplissait des vases de verre à côtés parallèles. Les racines de la moutarde blanche fuient la lumière, ainsi que l'a fait voir M. Payer. Nous pouvions donc expérimenter si ce phénomène aurait lieu sous l'influence des rayons colorés du spectre solaire, ainsi que l'a annoncé le même observateur. Nous plaçâmes donc dans ce spectre, et sur la prolongation des deux côtés, des vases dans l'eau desquels se développaient les racines de jeunes moutardes blanches. La longueur de ces racines était de 20 à 24 millimètres; elle n'atteignait pas tout à fait la moitié de la profondeur des vases. Cette expérience fut établie à 9 heures 40 minutes du matin, et par une température de + 17 degrés centésimaux; à 12 heures

Digitized by Google

30 minutes, nous observâmes, dans les rayons violets seulement, une flexion en arrière et en crochet de la pointe des racines ; elles fuyaient la lumière violette. A 12 heures 45 minutes, cette même flexion en arrière ou en fuite de la lumière s'observait, mais moins forte, dans l'indigo et le bleu, et de plus, de l'autre côté du violet, dans les rayons lavande. Ainsi, le maximum de fuite de la lumière se trouvait dans les rayons violets ; c'était là que se trouvait l'initiative de cette flexion, ainsi qu'avait lieu, pour les tiges, l'initiative de la flexion vers la lumière. La fuite de la lumière, toujours par la pointe des racines, se manifesta, pendant les heures suivantes, dans tous les autres rayons colorés du spectre solaire. Ce ne fut qu'à 4 heures, c'est-à-dire 6 heures 20 minutes après le commencement de l'expérience, que nous observâmes premièrement dans les rayons jaunes, et ensuite dans les rayons orangés et dans ceux des rayons verts qui étaient voisins des jaunes, une flexion latérale de la pointe des racines, flexion dirigée vers l'espace éclairé par les rayons rouges. Cette flexion se combinant avec celle de fuite de la lumière qui la croisait à angle droit, il en résultait que les pointes des racines étaient courbées en crochet suivant la résultante de ces deux tendances.

» Ainsi, la fuite de la lumière par les racines commence dans les rayons violets, et leur flexion latérale commence dans les rayons jaunes, comme cela a lieu pour la flexion des tiges vers la lumière et pour leur flexion latérale ; seulement tous les mouvements dans les racines sont inverses de ceux des tiges : ainsi, chez les tiges, il y a flexion vers la lumière et flexion vers l'espace éclairé par les rayons indigo, tandis que, chez les racines, il y a flexion pour fuir la lumière et flexion pour fuir l'espace éclairé par les rayons indigo. Toutefois, d'après les expériences ci-dessus exposées, on voit que ce dernier mode de flexion ne s'est point présenté à nous dans les racines soumises aux rayons rouges ni dans celles qui étaient dans les rayons violets, et cela fort probablement parce que dans ces deux rayons la tendance à la flexion, dans le sens latéral, est au plus faible degré. Aussi avons-nous vu que, lorsque la lumière n'était pas suffisamment intense, la flexion latérale ne se manifestait pas non plus dans les tiges placées dans ces mêmes rayons rouges et violets.

» Toutes ces expériences ont été faites en employant un prisme de flint-glass ; il était nécessaire de les répéter en employant des prismes faits avec d'autres substances. Dans deux expériences faites

Digitized by Google

avec un prisme d'eau, nous avons observé des phénomènes exactement semblables à ceux qui s'étaient présentés à nous en employant un prisme de flint-glass, c'est-à-dire : 1° flexion des tiges vers le prisme ou vers la lumière, flexion commençant dans les rayons violets et se montrant ensuite dans les autres rayons colorés du spectre, et au delà de ses limites, bien plus du côté de son extrémité violette que du côté de son extrémité rouge ; 2° flexion latérale des tiges vers l'espace occupé par les rayons indigo, commençant dans les rayons jaunes et se montrant ensuite dans les rayons orangés, rouges, verts et bleus ; et enfin flexion des tiges soumises à l'influence des rayons violets vers l'espace éclairé par les rayons indigo. Cet espace s'est donc encore ici trouvé le centre de convergence des deux flexions latérales opposées des tiges.

» Nous avons enfin employé un prisme d'alun aux mêmes expériences. Le spectre solaire produit par ce prisme était trop peu étalé pour qu'il fût possible de faire sur lui des observations bien exactes, et, de plus, ce prisme n'était pas d'une transparence parfaite, ce à quoi nous attribuons de n'avoir pas observé par son emploi la flexion latérale des tiges ; leur flexion vers le prisme s'est seule offerte à nous, et ayant commencé, comme toujours, dans les rayons violets, elle s'est étendue de là aux tiges éclairées par tous les autres rayons colorés du spectre. »

M. Dutrochet termine en proclamant que M. Payer a rendu service à la physiologie végétale en faisant connaître de nouvelles plantes dont les racines ont une tendance à fuir la lumière, fait dont il n'y avait jusque-là qu'un seul exemple connu, fait d'ailleurs qui n'est point général.

RECHERCHES de M. Zantedeschi. — *De l'influence des rayons solaires transmis par des verres colorés sur la végétation des plantes et la germination des graines;* 30 novembre 1842.

Nous ne croyons pas pouvoir faire mieux connaître ce travail qu'en analysant le rapport fait par M. Dutrochet, au nom d'une commission de l'Académie des Sciences :

« Les premières recherches relatives à l'influence qu'exercent sur les plantes les rayons lumineux colorés appartiennent à Senc-

Digitized by Google

bier, et remontent à l'année 1782. Ce physiologiste se servit de grandes bouteilles de verre très-mince, remplies d'eau rougie par le carmin, jaunie par le curcuma et le safran, rendue violette par la teinture de tournesol. Les plantes et les graines étaient soumises à la lumière transmise par ces bouteilles remplies d'eau colorée ou d'eau pure. Les résultats de ces expériences continuées pendant quatre ans furent les suivants :

» La germination arriva d'abord dans les graines soumises à la lumière jaune et à la lumière violette, ensuite dans les graines soumises à la lumière rouge, et enfin dans les graines tenues dans l'obscurité.

» L'allongement des tiges et des racines fut dans l'ordre suivant : au plus haut degré dans l'obscurité, cet allongement diminua successivement sous l'influence des lumières jaune, violette et rouge ; il fut encore moindre sous l'influence de la lumière transmise par les bouteilles remplies d'eau pure ; il fut au plus faible degré à la lumière libre. Cette dernière fut toujours trouvée plus efficace pour verdir les plantes que celle d'un seul des rayons colorés dont elle se compose. Les rayons violets furent trouvés avoir plus d'énergie pour prévenir l'étiolement que les autres rayons de lumière colorée.

» Ces expériences ont été faites sur les graines et sur les jeunes plants de laitue, d'épinards, et de haricots.

» Carradori, dans un ouvrage publié en 1841, ouvrage cité par M. Zantedeschi, mais que nous n'avons pu nous procurer, confirme les résultats obtenus par Senebier en ceci, que le pouvoir de la lumière pour colorer en vert les végétaux est à un degré éminent dans les rayons violets et bleus, bien qu'il y soit plus faible que dans la lumière ordinaire.

» Vingt-quatre ans avant la publication de ces dernières observations de Carradori, c'est-à-dire en 1817, le docteur Sébastien Poggioli avait publié un travail fort remarquable sur le même sujet. Au lieu de soumettre les plantes à la lumière transmise par des verres colorés, il les soumit à l'influence des rayons du spectre solaire.

» Deux vases de même grandeur, et placés dans des conditions semblables, reçurent un même nombre de graines de Raphanus rusticanus. Les plantules naissantes prirent accidentellement un déve-

Digitized by Google

loppement plus considérable dans un de ces vases que dans l'autre.

» Les plantules les plus développées furent soumises aux rayons rouges; les plantules les moins développées furent soumises aux rayons violets. Cette exposition des plantules aux deux rayons rouge et violet dura pendant six heures le premier jour, et également pendant six heures dans chacun des trois jours qui suivirent. Dès le troisième jour, les plantules soumises aux rayons violets et qui, au commencement de l'expérience, étaient les plus petites, avaient surpassé en développement celles qui étaient soumises aux rayons rouges; ces dernières, au quatrième jour, parurent étiolées. L'auteur observa que, dans les deux vases, les feuilles cotylédonaires des plantules changèrent de position et dirigèrent leur face supérieure vers le prisme, c'est-à-dire vers la lumière rouge dans un des vases, et vers la lumière violette dans l'autre vase. Cette direction arriva bien plus tôt chez les plantules soumises aux rayons violets que chez celles qui étaient soumises aux rayons rouges. M. Poggioli, qui expérimentait sur des plantules de Raphanus rusticanus, a vu que les deux feuilles cotylédonaires qui couronnaient ces plantules avaient dirigé leurs faces supérieures vers la lumière violette en premier lieu, et vers la lumière rouge en second lieu. Les deux feuilles opposées qui terminaient nos plantules d'Alsine media dirigèrent de même leurs faces supérieures vers la lumière rouge, à laquelle seule elles étaient soumises dans une expérience dont MM. de Jussieu et Adolphe Brongniart ont été témoins. Ainsi le phénomène est le même que celui qui a été observé il y a déjà vingt-sept ans par M. Poggioli.

» M. Poggioli ayant soumis des feuilles de capucine et des feuilles de vigne plongées sous l'eau, les unes aux rayons rouges et les autres aux rayons violets, il observa que ces feuilles ne dégagèrent pas la plus petite bulle de gaz oxygène.

» Le même expérimentateur a observé que les graines de Brassica eruca germent plus promptement sous l'influence des rayons rouges du spectre solaire que sous l'influence des rayons verts, et plus promptement sous l'influence des rayons verts que sous l'influence des rayons violets.

» Nous arrivons actuellement aux expériences de M. Zantedeschi, auteur du Mémoire qui est l'objet de ce rapport. Voici l'exposé sommaire de ces expériences :

Digitized by Google

» Une caisse de bois fut divisée en sept cases, et chacune de celles-ci fut fermée avec un des verres colorés suivants : orangé, violet, jaune, bleu, vert, noir.

» L'auteur n'avait pas pu se procurer de verre rouge.

Un pied de balsamine fut placé dans chacune des cases fermées par les verres orangé, jaune, vert, bleu et violet.

» Sous le verre bleu, la plante s'allongea plus que sous les autres verres.

» Sous le verre vert, il n'y eut aucun allongement sensible ; la plante périt le huitième jour.

» La plante qui eut le plus de vigueur fut celle qui se trouvait sous le verre violet, mais cependant ses fleurs périrent.

» Les plantes les plus faibles furent celles qui se trouvaient sous les verres orangé, jaune, vert et bleu.

» Sous les verres violet et vert, les feuilles conservèrent leur couleur verte ; sous tous les autres verres, elles jaunirent.

» Sous les verres violet, bleu et vert, les tiges se courbèrent vers la lumière ; sous les verres orangé et jaune, elles restèrent droites.

» Dans d'autres expériences, M. Zantedeschi plaça sous le verre vert des pieds d'Ocymum viride, de Myrthus moscata et de Cereus pentalophus. Les deux premières de ces plantes perdirent leurs feuilles ; la troisième se maintint longtemps en bon état, et s'allongea beaucoup en se courbant vers la lumière.

» M. Zantedeschi sema des graines de Balsamine dans les cases de son appareil, recouvertes par les différents verres colorés. Ces graines germèrent, dès le second jour, sous le verre vert ; elles germèrent, le troisième jour, sous le verre violet ; le quatrième jour, sous les verres jaune et orangé ; le cinquième jour, sous le verre bleu ; enfin elles ne germèrent que le neuvième jour dans celles des cases qui, n'ayant point de verre, étaient à la lumière et à l'air libres.

» Sous le verre vert, les feuilles cotylédonaires prirent une teinte verte que n'avaient pas celles qui étaient librement exposées à la lumière ; sous tous les autres verres, ces feuilles devinrent jaunâtres.

» M. Zantedeschi expose ensuite les expériences suivantes, qu'il a faites sur des pieds d'Echino-cactus Ottonis, placés dans les cases fermées par des verres colorés, et cette fois il avait pu se procurer un verre rouge pour fermer une de ses cases. Dans l'espace de temps

Digitized by Google

qui s'écoula depuis le 26 juin jusqu'à la fin d'octobre, les plantes mises en expérience jeunes encore prirent des développements différents sous les différents verres colorés. Leur accroissement en longueur fut de 2 centimètres sous les verres violet et orangé ; cet accroissement fut de 1 et demi cent. sous les verres jaune et vert ; ce même accroissement fut de 1 cent. seulement sous les verres rouge et bleu.

» Dans deux autres mesures prises antérieurement, l'une le 19 juillet, l'autre le 6 août, l'accroissement de ces plantes avait été tout à fait différent ; en sorte que l'auteur renonce à tirer aucune conclusion de ces expériences.

» M. Zantedeschi ayant semé des graines d'Echino-cactus Ottonis dans chacune des cases de son appareil, vit germer ces graines en vingt-quatre jours dans les cases fermées avec les verres violet et bleu et dans la case qui était sans verre ; ces graines germèrent en vingt-neuf jours dans la case fermée avec un verre vert, et en trente jours dans la case fermée avec un verre rouge.

» M. Zantedeschi plaça des plantules d'Oxalis multiflora dans les cases de son appareil ; elles se comportèrent comme il suit :

» Les tiges de cette plante se courbèrent vers la lumière sous les verres violet, bleu et vert ; elles n'offrirent aucune inflexion vers la lumière sous les verres rouge, jaune, orangé et noir.

» M. Zantedeschi tira les conclusions suivantes de ses expériences :

» La végétation, sous l'influence de la lumière transmise par tous les verres colorés, est languissante et maladive, ainsi que l'avaient observé Senebier et Carradori.

» L'ordre observé pour la germination sous les verres colorés est différent de celui qui a été observé par Senebier.

» La lumière violette a une puissance peu inférieure à celle de la lumière ordinaire pour verdir certains végétaux, ainsi que l'avait dit Senebier ; la Balsamine est dans ce cas ; mais cela n'a pas lieu pour l'Oxalis multiflora.

» Quant à la vigueur de la végétation, elle n'est point plus grande sous le verre violet qu'elle ne l'est sous les verres jaune et rouge, ainsi que l'avait observé Senebier.

» La lumière verte est moins favorable à la végétation que la lumière rouge.

» La plus grande vigueur de végétation a lieu sous le verre bleu pour l'Oxalis multiflora.

Digitized by Google

» M. Zantedeschi pense que les anomalies présentées par ces expériences proviennent de ce que ce n'est pas seulement la lumière qui agit sur les plantes pour favoriser leur végétation, mais aussi d'autres agents à l'influence desquels est soumise d'une manière variable la vitalité des tissus, et cela suivant la diversité des plantes. »

La commission sait bon gré à M. Zantedeschi de ses curieuses expériences, malgré l'incertitude des résultats obtenus, et l'engage à les continuer en employant les rayons colorés du spectre solaire lui-même.

RECHERCHES DE M. GARDNER. — *Sur l'action de la lumière jaune dans la production de la couleur verte des plantes et sur celle de la lumière indigo dans la production de leurs mouvements.*

« Le but de ce Mémoire, dit M. Gardner, est de prouver que les divers rayons du spectre jouissent de propriétés différentes dans leur action sur les végétaux; il doit, en particulier, servir à démontrer que les rayons qui font naître la couleur verte des plantes sont entièrement différents de ceux qui produisent les mouvements vers la lumière, la couleur verte étant développée surtout par les rayons jaunes, tandis que le mouvement est produit par la lumière indigo. »

Un héliostat réfléchissait un rayon de soleil dans un tube quadrangulaire qui traversait le volet. Ce tube fermé à son extrémité intérieure renfermait un prisme équilatéral en flint-glass, placé verticalement, et la lumière réfractée entrait dans la chambre par une ouverture pratiquée dans un des côtés du tube; toute la portion des rayons lumineux qui n'avait pas traversé le prisme était arrêtée au moyen d'un diaphragme. Les observations furent faites en Virginie, pendant une saison remarquablement belle, du 6 juillet au 1er octobre 1843.

Les plantes employées étaient des semis de navets, de raves, de moutarde, de pois, de fèves, et des plants de Solanum nigrum et virginianum, de Plantago major et minor, etc.; mais M. Gardner employa bientôt presque exclusivement des semis de navets, ces plantes fournissant les meilleurs résultats. Il les semait dans des boîtes à compartiments ou dans des vases, et les laissait se développer dans l'obscurité jusqu'à ce que les plantes eussent atteint une hauteur de 1 pouce à 1 pouce trois quarts anglais. Elles étaient alors exposées à l'action des rayons solaires à 15 pieds anglais du prisme; chaque

Digitized by Google

compartiment de la boîte ne recevait que des rayons colorés d'une seule espèce et renfermait environ une centaine de plantes.

M. Gardner a toujours trouvé que la couleur verte était la plus prononcée dans la boîte exposée aux rayons jaunes. La production de la chlorophylle ne se manifeste, même dans les circonstances les plus favorables, qu'après une exposition assez longue des plantes à la lumière. L'espace de temps le plus court qui ait suffi pour verdir un semis de navets exposé au centre du faisceau jaune a été de deux heures ; mais souvent six heures et plus étaient nécessaires. La couleur verte obtenue par l'exposition des plantes à la lumière est assez persistante ; un séjour de soixante-et-douze heures dans l'obscurité ne suffit pas pour l'altérer sensiblement dans un semis de navets. Les plantes des champs peuvent quelquefois conserver leur couleur dans l'obscurité pendant trois semaines, mais elles finissent par se jaunir.

Afin de comparer l'action des différents rayons lumineux, M. Gardner observa le temps nécessaire aux plantes contenues dans les différents compartiments pour atteindre une nuance de vert déterminée. Il trouva, pour le compartiment jaune, trois heures et demie ; pour l'oranger, quatre heures et demie; pour le vert, six heures. Au bout de dix-sept heures et demie, le semis exposé aux rayons bleus avait atteint une nuance de vert qui ne fut estimée que la moitié de celle qui avait été prise pour terme de comparaison.

L'action colorante est-elle due aux rayons chimiques, aux rayons calorifiques ou aux rayons lumineux du spectre ? Elle ne peut être attribuée aux rayons chimiques, parce que, si l'on éclaire des plantes étiolées au moyen de rayons solaires qui ont traversé une solution de bichromate de potasse assez concentrée pour absorber tous les rayons chimiques, ces plantes verdissent dans un espace de temps remarquablement court. Ce ne sont pas non plus les rayons calorifiques qui exercent l'action colorante, car le maximum de chaleur des rayons qui traversent un prisme de flint-glass ne correspond pas avec le maximum d'action sur les plantes étiolées. On doit donc admettre que la chlorophylle est développée par l'agent lumineux lui-même, considéré comme distinct des autres agents connus qui se trouvent dans les rayons solaires.

Si l'on expose au spectre solaire un semis de navets placé dans une boîte sans compartiments, on observe que les plantes se penchent

Digitized by Google

vers un axe commun : celles qui sont exposées aux rayons rouges, oranges, jaunes et verts, s'inclinent vers la couleur indigo, tandis que les plantes éclairées par les rayons violets se meuvent à leur rencontre. Lorsqu'on prolonge suffisamment l'expérience, le semis prend l'apparence d'un champ de blé couché par deux vents opposés. L'axe commun vers lequel se penchent les plantes est la ligne que suit le rayon indigo de Fraunhofer, en allant du prisme au semis ; les plantes qui se trouvent dans la lumière indigo s'inclinent directement vers le point du prisme d'où leur vient la lumière ; celles qui sont éclairées en rouge, en orangé, etc., ne se dirigent pas directement vers le prisme ; elles s'inclinent diagonalement du côté des plantes éclairées par les rayons de couleur indigo. Cette inclinaison latérale diminue à mesure que les plantes sont plus rapprochées de l'axe ; de telle sorte que celles qui sont exposées au bleu et au violet sont peu déviées de la ligne que suivent les rayons qui les éclairent.

M. Gardner conclut de cette expérience et d'autres, dans le détail desquelles nous n'entrons pas, que la force qui produit le mouvement se trouve dans le rayon indigo. La quantité de lumière nécessaire pour produire l'inclinaison est très-faible, et le phénomène paraît si peu dépendre de l'intensité de la lumière, qu'il semble qu'il y ait fort peu à gagner en concentrant les rayons au delà d'un certain point ; il y a dans toutes les couleurs du prisme une force suffisante pour produire le mouvement. Pour les expériences sur la tendance des végétaux vers la lumière, les plantes développées dans l'obscurité sont préférables aux plantes vertes ; elles sont beaucoup plus sensibles. Les mouvements sont plus marqués dans les plantes qui ont été exposées quelques jours à la lumière ; ils cessent probablement dans les parties ligneuses. Le mouvement est dû à une action sur la tige, car il avait constamment lieu après l'enlèvement des feuilles. Ce qui paraît encore plus curieux, c'est que les plantes complétement penchées se redressent lorsqu'on les remet dans l'obscurité ; ce fait s'observe le mieux quand on n'a pas exposé le semis aux rayons directs du soleil. Il semble donc que l'action de la lumière qui produit le mouvement est transitoire, et que ce mouvement n'est pas accompagné d'un changement permanent dans la structure de la plante.

Ici se présente de nouveau la question de savoir si l'action mo-

Digitized by Google

trice est due aux rayons chimiques ou bien aux rayons calorifiques, ou enfin aux rayons lumineux du spectre. La propriété du bichromate de potasse d'arrêter les rayons chimiques sert encore ici à prouver que ces rayons ne sont pas ceux qui produisent le mouvement; M. Gardner démontre aussi ce fait en arrêtant les rayons chimiques contenus dans le faisceau indigo au moyen d'une auge de verre renfermant du persulfocyanure de fer. L'action motrice ne peut pas être attribuée aux rayons calorifiques, parce qu'elle est le plus intense dans la partie du spectre qui présente le minimum de chaleur. De plus, les rayons lunaires peuvent, même sans condensation, produire un mouvement considérable en une ou deux heures; ce résultat semble concluant, car on n'a jamais pu découvrir la moindre chaleur sensible dans les rayons de la lune. Si donc la présence du calorique peut être appréciée par le thermoscope, et celle des rayons chimiques par des composés d'argent, on doit attribuer le mouvement des plantes vers la lumière à l'action des rayons lumineux proprement dits.

Il existe un rapport intime entre les rayons qui développent la chlorophylle et ceux qui produisent la décomposition de l'acide carbonique et le spectre lumineux. En effet, on vient de voir que c'est dans le faisceau jaune qu'a lieu surtout le développement de la couleur verte des plantes; or, le docteur Draper place là le maximum d'action pour la décomposition de l'acide carbonique, et c'est encore dans ce faisceau que sir W. Herschell et Fraunhofer placent le maximum de lumière. Non-seulement le maximum d'effet de ces trois actions se trouve situé au même endroit du spectre, mais leur intensité varie proportionnellement dans les différents espaces colorés. Ceci prouve que la coloration en vert des plantes et la décomposition de l'acide carbonique sont causées par le même agent impondérable, celui qui produit aussi la vision.

Si les résultats obtenus par M. Gardner sont confirmés par de nouvelles expériences, ils auront des conséquences nombreuses et importantes pour la physiologie végétale. Ils semblent en contradiction avec la théorie émise par de Candolle sur les mouvements des plantes vers la lumière, car les rayons de couleur indigo qui produisent cet effet ne paraissent pas jouir de la propriété de décomposer l'acide carbonique et de produire la lignine. Voici entre autres

Digitized by Google

une idée ingénieuse indiquée par M. Gardner, et qui découle des faits qu'il a observés. On a vu que le mouvement des plantes vers la lumière était dû à l'action de la lumière indigo, et que des rayons d'une très-faible intensité étaient capables de produire ce phénomène. Le bleu de l'atmosphère étant très-intense par rapport à la lumière du soleil, ne se pourrait-il pas que la couleur du ciel déterminât, jusqu'à un certain point, la croissance verticale des tiges?

En imprimant pour la seconde fois dans la Bibliothèque universelle de Genève l'analyse du Mémoire de M. Gardner, M. I. M. l'accompagne de quelques réflexions critiques dont il sera bon de tenir compte.

« 1° D'après l'auteur, des plantes vertes prises dans les champs gardent leur couleur pendant des semaines entières, mais à la fin deviennent jaunes. Dans les expériences de même nature, nous avons toujours vu les feuilles des végétaux mis verts dans l'obscurité tomber après un temps plus ou moins long, et être remplacées par de nouveaux bourgeons qui se développaient étiolés. Jamais nous n'avons vu une feuille verte devenir jaune dans l'obscurité, tandis que rien n'est plus facile que de convertir en feuille verte une feuille étiolée. L'auteur, dans une partie subséquente de son Mémoire, cite, d'après Berzélius, l'opinion que nous avons émise d'après le résultat de nos expériences, mais il dit ne pouvoir la partager, parce qu'il a vu les plantes perdre leur verdure après un séjour plus ou moins prolongé dans l'obscurité. Le fait sans doute est constant; mais s'il avait suivi de près le mode selon lequel il s'opère, il aurait vu que ce n'était pas par la conversion des mêmes feuilles vertes en feuilles jaunes.

» Dans les recherches non encore publiées que j'ai entreprises cet été sur l'influence de la lumière sur quelques phénomènes de la végétation, je me suis assuré qu'elle était aussi la cause de la coloration des pétales des fleurs. Ainsi, par exemple, les boutons floraux d'une plante d'ornement, commune dans les jardins, l'Agapanthe umbellata, sont encore blancs lorsque par leur développement ils rompent le spathe qui les renferme. Ils prennent ensuite une teinte foncée d'un beau bleu.

» 2° Si l'on enveloppe la fleur avant sa sortie du spathe, ou immédiatement après, d'un capuchon de papier noir qui intercepte

Digitized by Google

la lumière sans gêner son développement, on trouvera qu'elle reste blanche sans présenter d'ailleurs d'autres altérations. Remise à la lumière, elle se colore ensuite graduellement, quoiqu'elle conserve toujours une teinte plus pâle que celles qui n'ont point été tenues dans l'obscurité.

» 3° M. de Candolle a cherché à expliquer, en quelque sorte par une action mécanique, la tendance des plantes à se porter vers le point le plus éclairé. Il établit que du côté de la tige qui reçoit le plus de lumière, l'acide carbonique est plus facilement décomposé, la végétation est plus active, le ligneux se forme plus aisément, et qu'en conséquence les fibres, devenant plus rigides et plus fortes du côté éclairé, courbent la plante vers la lumière. Mais il est clair que si les expériences de M. Gardner sont confirmées, cette théorie ingénieuse ne pourra plus subsister. En effet, on comprendrait difficilement comment un semblable effet pourrait être produit avec la rapidité que l'auteur du mémoire que nous avons analysé a observée sur les plantes étiolées. Il devrait, de plus, être permanent de sa nature, et l'on ne peut l'admettre si les plantes, une fois penchées, reprennent leur direction perpendiculaire dans l'obscurité. Enfin, si la direction des plantes est principalement due aux rayons indigo du spectre, la théorie de M. de Candolle ne saurait s'accorder avec ce fait, puisque ces rayons ne peuvent décomposer l'acide carbonique, ni, partant, produire le ligneux. Il faut donc admettre que ce mouvement est produit par une sorte d'attraction de la lumière pure, attraction qui peut même n'être que passagère. Quoique cette conclusion puisse paraître singulière, nous connaissons d'autres corps impondérables, comme le calorique et l'électricité, qui déterminent des mouvements considérables : pourquoi la lumière n'en produirait-elle pas aussi ?

» 4° L'auteur se livre à quelques spéculations conjecturales sur l'origine de la chlorophylle, qu'il penche à regarder comme la matière jaune des feuilles, ou peut-être la dextrine ou quelque autre substance désoxygénée par l'action de la lumière. Ce serait un effet analogue à la formation d'autres hydrocarbures, comme la graisse et l'huile dans les animaux, admise par Liebig. Il ne serait plus nécessaire dans ce cas, dit l'auteur, d'admettre la décomposition de l'eau dans les plantes, pour rendre compte de la présence de l'hydrogène.

Digitized by Google

La décomposition de l'acide carbonique viendrait après la production de la chlorophylle, et suffirait pour expliquer la formation de toutes les substances organiques végétales. — Nous avouons ne pas pouvoir facilement comprendre la succession de phénomènes imaginée par l'auteur. S'il est un fait démontré en physiologie végétale, c'est que l'acide carbonique, l'eau et l'ammoniaque, sont les seuls éléments nourriciers indispensables. Or, s'il en est ainsi, comment concevoir que la substance quelconque primitive, dont l'auteur admet la conversion en chlorophylle par sa désoxygénation, se serait formée sans la décomposition de l'acide carbonique, qui seul peut lui fournir le carbone qu'elle contient? Evidemment cette décomposition doit être le premier acte de la vie végétale, et doit précéder, aussi bien que suivre, la production de la chlorophylle.

» 5° Il faut conclure de la coïncidence entre le pouvoir éclairant, celui qui est le plus favorable à la décomposition de l'acide carbonique, et celui qui préside à la formation de la chlorophylle, que les rayons jaunes sont les plus propres à la végétation. Les idées de quelques physiologistes qui, supposant que le rayon bleu exerçait la principale action sur la vie végétale, proposaient de faire les vitraux des serres en verre de cobalt, ne seraient, en conséquence, pas susceptibles d'une utile application. En terminant, l'auteur récapitule les conclusions qu'il croit pouvoir tirer de ses expériences, et insiste en particulier sur ce fait, que la lumière pure, dégagée de toute influence chimique ou calorifique, est capable de produire des mouvements appréciables dans les plantes. »

RECHERCHES DE M. HUNT. Première Note. — *De l'influence de la lumière sur la végétation.* — Août 1843.

Depuis plusieurs années, l'auteur étudie l'influence des divers rayons de la lumière sur la germination des graines et sur l'accroissement des jeunes végétaux. Les résultats de ses recherches tendent à démontrer le pouvoir considérable que possèdent les rayons les plus lumineux pour empêcher la germination, et pour nuire au développement des plantes dans leur jeune âge. Ainsi des plantes que l'on force à végéter dans les rayons rouges s'écartent de la lumière comme d'une influence qu'elles cherchent à éviter, tandis que les

Digitized by Google

rayons bleus et les rayons chimiques ont, au contraire, une action bienfaisante sur le développement des végétaux.

Néanmoins l'auteur a trouvé que, quoique l'influence du rayon bleu soit grande pour hâter la germination et favoriser la vigueur des végétaux, son action est trop stimulante pour leur permettre d'arriver à une complète maturité. La sève du végétal paraît s'employer tout entière à la production d'un beau feuillage d'un vert foncé; mais on ne peut en obtenir des fleurs ni des semences qu'en substituant au rayon bleu les rayons jaunes, qui sont les plus propres à assurer cet entier développement.

L'auteur a aussi observé l'effet remarquable des rayons verts pour amener l'étiolement du végétal, et la curieuse propriété que les plantes possèdent d'envoyer des pousses d'une extrême longueur à la recherche de la nature de lumière qui leur est le plus favorable.

De l'influence de la lumière sur la germination et sur la végétation.

L'auteur a confirmé, par de nouvelles expériences, les résultats auxquels il était parvenu, et qui tendaient à prouver que la lumière était nuisible à la germination des graines et à l'accroissement des jeunes plantes.

Il s'est ensuite attaché à des recherches propres à éclairer la question de la formation de la fibre ligneuse. Il a trouvé que des plantes qui croissaient sous l'influence d'une lumière qu'on avait fait passer par des milieux de couleurs bleue ou rouge, contenaient plus d'eau que celles qui avaient crû sous l'influence des rayons qu'on avait fait passer par des milieux jaunes et verts. La formation de la fibre ligneuse suit une progression contraire, et est plus considérable dans les plantes qui ont reçu ces derniers rayons. L'auteur a observé les rapports suivants :

Dans le rayon	bleu, les plantes ont pris.	7. 16 p. °/₀,
—	rouge.	7. 25,
—	vert . . . . . , ...	7. 60,
—	jaune.	7. 69

de fibre ligneuse.

De jeunes plants bien vigoureux furent exposés à l'influence des divers rayons du spectre. Ils périrent tous en peu de jours sous l'ac-

Digitized by Google

tion de la lumière jaune ; leur mort fut plus lente à venir sous l'influence du vert, et ils ne prospérèrent que dans les rayons rouges et bleus.

M. Hunt est ensuite entré dans quelques détails sur les diverses propriétés chimiques, calorifiques et lumineuses, qui coexistent dans les rayons solaires. Il a établi que la lumière du soleil n'était point du tout égale en quantité au calorique et encore moins au pouvoir chimique. Il a montré que ce dernier augmentait dans le spectre en proportion de la diminution de lumière, et que, lorsque celle-ci était à son maximum, le pouvoir chimique était au contraire le plus faible. L'emploi de divers milieux absorbants peut produire une lumière très-intense presque entièrement dépouillée de pouvoir chimique ; au contraire, ce dernier agent peut être obtenu dans sa plus grande énergie sans être accompagné de lumière sensible.

Influence de la lumière sur la germination des graines et l'accroissement des végétaux.

Ce sujet a été traité au moyen d'une subvention de l'association. M. Hunt a préparé six boîtes tellement arrangées, qu'aucune lumière n'y pouvait pénétrer qu'au travers de verres de différentes couleurs ; le premier était d'un rouge foncé, le dernier d'un beau vert. Dans ces boîtes il a élevé des renoncules, des tulipes et d'autres plantes. Il a trouvé que les tulipes commençaient à germer le plus tôt sous le verre orangé, et le plus tard sous les verres bleus et verts. Sous le verre bleu, les plantes, quoique plus tardives, étaient plus robustes et promettaient de venir à maturité et en pleine fleur, tandis que sous le verre orangé elles étaient plus précoces, mais avaient un aspect maladif.

Un fait curieux est relatif au verre rouge. Dans toutes les autres boîtes, quelle que soit la couleur du verre, les plantes se penchent vers la lumière, comme elles le font pour la lumière blanche ; mais sous le verre rouge, elles se penchent comme pour s'en éloigner.

Dans presque tous les cas, la germination a été empêchée par le pouvoir absorbant des rayons jaunes.

Le comité de l'Association britannique désire la continuation de ces expériences, qui ne sont pas encore décisives relativement à la confiance qu'il faut avoir dans le principe que cherche à établir

Digitized by Google

M. Hunt, de l'influence spécifique et positive des rayons chimiques sur la germination des plantes.

RECHERCHES DE M. DRAPER. — *Sur la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles, sous l'influence des rayons jaunes du spectre.* — Septembre 1844.

L'auteur avait avancé que des rayons lumineux qui avaient traversé du bichromate de potasse en solution, et perdu toute action chimique, au point de ne plus noircir le chlorure d'argent, avaient conservé la faculté d'exciter dans les feuilles des plantes la décomposition de l'acide carbonique, de former la chlorophylle, et de favoriser la germination. M. Hunt a élevé des doutes sur ces assertions et a attribué aux rayons bleus la faculté d'opérer ces changements. D'autres physiciens, comme MM. Kane et Gardner, ont tendu à confirmer les vues de M. Draper. Dans le but de donner de nouvelles preuves de l'exactitude de ses premières assertions, ce dernier a fait les expériences suivantes. Il a tenu pendant deux jours à l'obscurité des brins d'herbe renfermés dans un vase rempli d'eau imprégnée d'acide carbonique, afin de laisser dégager toutes les bulles d'air qui se tiennent attachées à la surface des feuilles fraîches. Ces herbes étaient alors d'un vert foncé. Mises dans un tube contenant de l'eau imprégnée d'acide carbonique au soleil libre, elles dégagèrent une certaine quantité d'un gaz qui contenait :

Oxygène.	41
Azote.	59
	100

L'auteur prépara ensuite cinq tubes de 3/5 de pouce de diamètre, et de six pouces de long, remplis d'eau imprégnée d'acide carbonique, et renversés sur une cuve qui en contenait aussi. On introduisit dans chacun d'eux des brins de gazon à peu près en égale quantité. Ces tubes furent exposés à l'influence des rayons du spectre solaire, et l'on obtint les quantités de gaz représentées par les nombres suivants :

1.	Extrême rouge et rouge. . . .	0,0
2.	Orangé et jaune.	19,8
3.	Jaune et vert.	17,4
4.	Bleu.	0,5
5.	Indigo et violet.	0,0

Digitized by Google

Le gaz du n° 2, fourni par l'orangé et le jaune, lavé dans la potasse caustique, ne diminua pas de volume, et ne contenait conséquemment pas d'acide carbonique. Sa composition était la suivante :

Oxygène.	40,4
Azote.	59,6
	100

Le gaz du n° 3, produit par le jaune et le vert, ne contenait non plus aucune trace d'acide carbonique, et renfermait :

Oxygène.	45,6
Azote.	54,4
	100

L'auteur explique la forte proportion d'azote qui se rencontre dans ces analyses, par la nature même du procédé qu'il emploie. Il pense qu'en conservant pendant deux jours les feuilles des plantes dans de l'eau imprégnée d'acide carbonique, il s'établit dans leur tissu un commencement de décomposition des produits azotés qu'elles renferment, et que l'azote, ainsi dégagé, se mêle aux premières portions d'oxygène produit par la décomposition de l'acide carbonique. Aussi, dit-il, le tube du n° 3, qui contient une grande quantité totale de gaz, renferme-t-il une moindre proportion comparative 'azote. Il nous semble difficile d'admettre une si rapide décomposition de la substance des feuilles de graminées employées, et de plus il nous paraît que, si cette explication était exacte, une telle décomposition devrait modifier les propriétés vitales du tissu végétal, et par conséquent jeter du doute sur les résultats obtenus, et sur les conclusions qu'en tire l'auteur.

THÈSE DE M. DURAND DE CAEN. — *Recherche et fuite de la lumière par les plantes.*

Nous ne pouvons mieux terminer cette analyse, trop étendue peut-être, qu'en reproduisant les principaux passages d'une thèse dans laquelle M. Durand de Caen a résumé tout récemment ce qui avait été écrit sur la question délicate de la fuite et de la recherche de la

Digitized by Google

lumière par les tiges et les racines des plantes, en y ajoutant un grand nombre d'observations bien faites et précieuses.

I. *Racines qui recherchent la lumière.* — « Si quelque chose doit surprendre dans l'étude des phénomènes physiologiques des plantes, c'est assurément la tendance qu'ont certaines racines à se diriger vers la lumière; les racines ne sont-elles pas, en effet, destinées à vivre dans la terre, et par conséquent à fonctionner dans l'obscurité? C'est en 1824 que le phénomène de la tendance des racines à se diriger vers la lumière a été signalé, par M. Dutrochet, chez la radicule du *Mirabilis jalappa*, se développant dans l'eau contenue dans un vase de verre. Mais cette racine était pourvue à son extrémité de matière verte, ce qui pouvait faire supposer que, si elle se recourbait vers la lumière, c'est qu'elle élaborait la chlorophylle, et que, comme beaucoup d'autres racines qui ont végété longtemps à la lumière, elle prenait le rôle de la plupart des tiges; aussi M. Dutrochet avait-il considéré la couleur verte de la radicule du *Mirabilis jalappa* comme la condition de sa direction vers la lumière. Il restait donc à decouvrir des racines dépourvues de matière verte se dirigeant néanmoins vers l'afflux lumineux; c'est ce que j'ai été assez heureux pour observer le premier il y a quatre ans : en faisant développer des racines d'*Allium cepa* dans un vase rempli d'eau et exposé à la lumière, je m'aperçus qu'elles se portaient du côté d'où venaient les rayons lumineux.

» En examinant ces racines, je me suis assuré qu'elles ne contenaient pas la moindre parcelle de matière verte. Ce phénomène m'étonna tellement, que je répétai l'expérience un grand nombre de fois, et quoique j'obtinsse toujours le même résultat, je ne pouvais pas croire à sa réalité. Un soupçon que je formai vint encore augmenter mes doutes.

» La paroi du vase opposée à celle qui reçoit l'afflux de la lumière ne forme-t-elle pas un miroir concave qui peut renvoyer les rayons vers les racines, de manière à les éclairer davantage de ce côté, au moins à certains moments de la journée? Il fallait s'assurer si cette idée était fondée. Voici ce dont je m'avisai : je peignis en noir les deux tiers des parois internes du flacon, et je laissai l'autre tiers sans le peindre. Je remplis d'eau le flacon et je le plaçai de telle sorte que le côté qui n'était pas peint reçût la lumière directe; les choses

Digitized by Google

ainsi disposées, je maintins à la surface de l'eau contenue dans ce flacon un oignon d'*Allium cepa*. Les racines de cette plante se développèrent et se courbèrent toutes, et plus profondément que je ne l'avais observé encore, vers le côté éclairé du flacon. Je répétai cette expérience un grand nombre de fois, et toujours j'obtins le même résultat. Les racines d'*Allium cepa* cherchent donc la lumière. Elles cherchent même la lumière diffuse.

» Mais ce qui lève toute espèce de doutes en ce qui concerne la réalité de ce phénomène singulier, c'est la liste suivante des plantes qui, parmi toutes celles que j'ai soumises au même mode d'expérimentation, m'ont présenté dans leurs racines la même tendance à se porter vers la lumière :

» Allium vineale, porrum, schænoprasum, fissile, angulosum, ampeloprasum; Hyacinthus orientalis; Scilla lusitanica.

» Dans la direction de ces racines vers la lumière, il y a une particularité à noter. Si l'on change, de temps en temps, le côté de la racine qui reçoit directement la lumière, la portion de cette racine courbée se redresse, et bientôt toute la racine a une direction verticale; puis, si on la laisse du même côté éclairé, elle se courbe vers ce côté ; dans ce cas, ce n'est pas l'extrémité de la racine seulement qui est influencée par la lumière, c'est la racine tout entière.

» Ces racines se comportent alors à la lumière comme les tiges. On sait que l'on peut obtenir la verticalité d'une tige, quoique placée dans un espace éclairé par une seule ouverture, pourvu qu'on change successivement cette plante de côté ; on peut encore, en agissant comme je l'ai fait voir, faire croître de haut en bas, et dans une direction verticale, certaines tiges, et entre autres celle de jacinthe.

» Ainsi, dans les racines de ces plantes, il est bien prouvé que ce n'est pas la seule spongiole qui se courbe vers la lumière. Il n'en est pas de même chez les radicules du *Mirabilis jalappa* et du *Mirabilis longiflora*, ainsi que M. Dutrochet l'a observé, car dans les racines de ces plantes, c'est l'extrémité seule qui présente la tendance vers la lumière ; si, lorsqu'elles se sont ainsi courbées, on retourne le vase, les courbures précédemment obtenues persistent, et la portion terminale qui se forme dans cette nouvelle position se porte seule vers l'afflux lumineux.

Digitized by Google

II. *Racines qui fuient la lumière.* — « On ne connaît encore aujourd'hui que quatre racines véritables qui fuient la lumière : la racine aérienne du *Pothos digitata*, celles du chou, de la moutarde blanche et du *Sedum telephium*. Quant à la radicule du gui, cette propriété n'a été constatée que dans le premier mérithalle de la tige de cette plante. Cependant M. Payer, qui ne nomme que la racine du chou, celle de la moutarde blanche et du *Sedum telephium*, affirme que beaucoup d'autres racines se trouvent dans le même cas.

» Le phénomène en question est bien loin d'ailleurs d'être général. M. Dutrochet, qui a fait un grand nombre d'essais de ce genre, n'a rencontré que des racines n'offrant aucune tendance ni pour rechercher la lumière ni pour la fuir, à moins qu'elles ne se colorent accidentellement en vert.

» M. Dutrochet et M. Payer faisaient développer leurs racines dans des vases de verre pleins d'eau, qu'ils tenaient également exposés à l'éclat du jour. Tel n'est pas tout à fait le mode d'expérimentation que j'ai cru devoir suivre. J'ai pensé que la racine, qui fuit la lumière placée entre deux milieux différemment éclairés, manifesterait cette tendance à un degré d'autant plus élevé qu'il y aurait une différence plus marquée entre la quantité de lumière que chacun de ces milieux donnerait à la racine ; en d'autres termes, que la flexion de la racine serait d'autant plus considérable vers le milieu le moins éclairé, que ce milieu serait plus obscur par rapport à l'autre, qui serait au contraire plus éclairé.

» De sorte qu'il faut juger de la quantité dont une racine devra fuir la lumière, non pas d'après l'intensité des rayons lumineux qui frapperaient un de ses côtés, mais bien par la plus grande différence qui existera entre le côté d'où vient l'afflux de la lumière et le côté opposé.

» Ces idées ne sont pas restées pour moi à l'état de théorie ; l'expérience est venue les confirmer. J'ai vu des racines qui, lorsque je les exposais dans un vase de verre rempli d'eau à une forte lumière, manifestaient une faible tendance à se porter du côté le moins éclairé, vers l'ombre, prendre une flexion marquée chaque fois que je tapissais intérieurement, avec une étoffe noire et épaisse, les deux tiers du vase, et que j'exposais l'autre tiers à l'action de la lumière. La racine de cresson alénois, *Lepidium sativum*, qui, ainsi

Digitized by Google

que l'a observé M. Payer, n'affecte aucune tendance à fuir la lumière ou à la rechercher, lorsqu'on l'expose à une lumière qui la frappe cependant avec plus d'énergie d'un côté que de l'autre, se courbe visiblement, au contraire, dans le sens opposé à celui de la lumière, lorsque, par des moyens artificiels comme ceux que j'ai indiqués ci-dessus, on parvient à établir une différence suffisante de lumière entre l'un et l'autre côté. La fuite de la lumière par cette racine ne me laisse pas de doute. Si l'on retourne vers la lumière la pointe de la racine qui s'est fléchie pour la fuir, la partie courbée persiste; mais, comme cette racine s'accroît, ainsi que toutes les autres, par son extrémité, la partie qui se développe fléchit dans le sens opposé à celui d'où vient la lumière. J'ai pu ainsi obtenir, en prolongeant l'expérience, des racines de cresson alénois disposées en zig-zag.

» En résumé, toutes les racines que j'ai soumises à l'action de la lumière se sont développées dans les conditions suivantes : les graines germaient dans de la mousse fixée au-dessus d'un vase de verre plein d'eau, dont les deux tiers de ses parois internes étaient recouverts d'une étoffe noire fort épaisse, tandis que le reste recevait l'action de la lumière directe. C'est en expérimentant ainsi que j'ai noté comme fuyant la lumière, d'une manière plus ou moins prononcée, les racines dont la liste suit :

» Racines de Raphanus sativus (*radis*), Cheiranthus incanus (*giroflée des jardins*), Myagrum sativum (*caméline*), Isatis tinctoria, (*pastel des teinturiers*), Diplotaxis tenuifolia, Erisymum contortum, Sinapis levigata, Alyssum vesicaria, Brassica napus (*navet*), Brassica rapa (*grosse rave*), Brassica campestris (*colza*), Brassica orientalis, Brassica oleracea capitata, Brassica viridis crassa, Brassica capitata rubra, Brassica oleracea botrytis.

» Racines secondaires de (1) Lathyrus odoratus.

» Racines d'Allium multiflorum, d'Allium angulosum, Achirantes sessilis, tubercules de pommes de terre, Iberis primata, Iberis tenoriana, Erysimum crepidifolium, Sinapis integrifolia, Hesperis tristis.

(1) Les plantes dont les noms suivent sont celles chez lesquelles j'ai reconnu, depuis la présentation de mon Mémoire à l'Académie, leur tendance à fuir la lumière.

Digitized by Google

» Les racines qui se courbent le plus, dans un temps égal, les circonstances étant les mêmes, sont celles du *Diplotaxis tenuifolia* et de l'*Isatis tinctoria*. Pour les autres, le phénomène est moins marqué, quoiqu'il le soit beaucoup encore; il se produit à la lumière diffuse comme à la lumière directe, pourvu qu'il y ait une différence suffisante dans l'intensité lumineuse, entre le côté d'où vient la lumière et le côté opposé, et, si cette différence est assez grande, il se produira même d'une manière plus marquée à la lumière diffuse qu'à la lumière directe.

» Il est bien vrai, comme M. Dutrochet l'a reconnu, que les tiges se courbent vers la lumière avec plus de rapidité que les racines ne s'en écartent, et que, par suite, si l'expérience se renferme dans un court intervalle, la courbure des tiges dans un sens est plus grande que la courbure des racines en sens inverse; mais en prolongeant l'expérience, on observe souvent tout le contraire. La courbure de la racine qui fuit la lumière devient plus considérable que celle de la tige qui la cherche.

» Voilà donc un grand nombre de racines qui fuient la lumière. Ainsi le phénomène se trouve confirmé de la manière la plus complète. Ces racines appartiennent à diverses familles, mais particulièrement à la famille des crucifères, et je n'ai pas encore rencontré de plantes crucifères dont la radicule ne se dirige dans le sens opposé à l'afflux lumineux. Peut-être serait-on autorisé à conclure que les racines de toutes les plantes de cette dernière famille fuient la lumière.

» Quoi qu'il en soit, je répète ici que la fuite de la lumière par les racines est bien loin d'être un phénomène général.

» La recherche et la fuite de la lumière ne sont pas les seuls phénomènes que les racines présentent quand elles sont soumises à l'influence de cet agent. D'après M. Dutrochet les racines du *Pisum sativum*, et celles de l'*Ervum lens*, qui n'offrent aucune tendance ni à rechercher ni à fuir la lumière lorsqu'elles se développent dans l'eau contenue dans un vase de verre, où elles ne reçoivent que la lumière diffuse, se contournent et se tortillent souvent de la manière la plus irrégulière, semblant attester par là qu'elles sont dans un état de souffrance. M. Dutrochet a remarqué encore que lorsque ces racines ne reçoivent la lumière que par une fente verticale de 1 à 2 centimètres de largeur, pratiquée dans une étoffe noire qui enve-

Digitized by Google

loppe le vase de verre, un phénomène plus singulier se présente: elle se contournent souvent en spirale, tantôt de droite à gauche, tantôt de gauche à droite, comme les tiges volubiles ou les vrilles. Les racines de *Pisum* se développent en formant une spirale de droite à gauche, à spires espacées; celles d'*Ervum* présentent des spirales à tours serrés et dirigées ou de droite à gauche ou de gauche à droite. M. Dutrochet dit que ce phénomène de disposition en spirales ne se présente pas constamment chez les racines de la même espèce de plantes, se développant cependant dans les mêmes conditions environnantes, de sorte qu'il dépend en partie de la vitalité de la plante.

» Voici ce que j'ai observé relativement à ce phénomène : en faisant développer, d'après le mode d'expérimentation décrit dans ce mémoire, les racines nées de la bulbe de l'*Allium oleraceum* et celles de l'*Allium flexum*, on reconnaît que ces racines se tournent en spirale de gauche à droite tout en se dirigeant vers la lumière; ce qu'il y a de bien remarquable, c'est que les feuilles de ces deux *Allium* se tournent également en spirale de gauche à droite. »

III. *Examen des théories par lesquelles on a expliqué l'influence qu'exerce la lumière sur les caudex végétaux.* — « On sait maintenant que la radicule de l'*Allium cepa* qui se dirige vers la lumière est dépourvue de matière verte; il en est de même de celles que j'ai signalées précédemment et qui offrent la même tendance; les racines nées du tubercule de la pomme de terre, ainsi que les racines adventives de l'*Achyrantes sessilis*, qui, sous l'influence lumineuse, prennent une direction opposée, offrent une teinte herbacée. Ces deux ordres de faits remettent en question toutes les théories qui ont été émises pour expliquer la tendance des caudex végétaux vers un foyer lumineux, car elles ont toutes cela de commun, qu'elles prennent pour point de départ la présence de la matière verte dans les tiges et dans les racines où cette action se manifeste.

» Parmi ces théories, celle de M. de Candolle doit à l'ingénieuse simplicité qui la distingue, d'avoir été admise sans contestation par la plupart des physiologistes. M. de Candolle part de ce fait que les parties vertes des végétaux décomposent l'acide carbonique lorsqu'elles sont exposées à l'action de la lumière, et il en conclut que le côté de la tige qui est éclairé par les rayons du soleil doit décom-

Digitized by Google

poser, dans le même temps, plus d'acide carbonique, fixer plus de carbone, se solidifier plus promptement que le côté opposé, et par suite s'allonger moins rapidement; et comme les deux côtés de la tige sont étroitement liés l'un à l'autre et ne peuvent se séparer, il faut bien que le côté le plus mou, qui grandit le plus, détermine l'incurvation de la tige vers le côté opposé qui se solidifie et qui grandit le moins.

» Soit comme cause, soit comme effet, le développement de la matière verte est intimement lié, tout le monde le sait, à ce phénomène physiologique de la décomposition de l'acide carbonique dans les tissus végétaux. Or, non-seulement les racines d'*Allium cepa* et celles d'autres plantes qui se dirigent vers la lumière n'étaient pas vertes avant que le phénomène eût lieu, mais elles ne le deviennent pas après, si longtemps qu'on les y laisse exposées. La matière verte n'est donc pas ici la cause, et la cause n'est pas davantage dans le phénomène physiologique que nous savons donner toujours naissance à la matière verte.

» Une autre objection non moins grave ne surgit-elle pas de ce fait que les racines, suivant les espèces, prennent les directions les plus opposées dans les mêmes circonstances, et sous l'influence du même agent auquel est dû la décomposition de l'acide carbonique dans les parties vertes? Certaines tiges qui sont vertes tendent aussi à se diriger dans un sens opposé à celui dans lequel la lumière arrive; M. Dutrochet avait déjà montré tout ce que cette contradiction avait de grave pour la théorie de M. de Candolle. Il avait fait voir de plus que le côté de la tige qui est dans l'ombre est loin de jouer le rôle actif que M. de Candolle lui attribue; que ce rôle appartient au contraire au côté éclairé, tandis que le côté non éclairé n'a, dans le phénomène, qu'un rôle purement passif.

» En même temps qu'il suscitait contre la théorie de M. de Candolle des objections auxquelles il paraît au moins difficile qu'elle puisse survivre, M. Dutrochet en cherchait une autre, et il veut l'avoir trouvée dans la considération des tendances diverses à l'incurvation que nous offrent les parties constituantes des caudex végétaux, tendances sur lesquelles la lumière exerce une très-grande influence. Selon M. Dutrochet, si on observe dans un caudex deux courbures en sens inverse, sous l'influence d'une même cause, c'est que l'or-

Digitized by Google

ganisation de ces différents caudex, loin d'être la même, est au contraire différente.

» Dans les tiges herbacées et chez les tiges naissantes des végétaux ligneux, le système cortical est presque entièrement composé de parenchyme ou de médulle corticale. M. Dutrochet a fait voir que ce parenchyme présente une différence notable dans l'ordre qu'affecte le décroissement en grandeur des cellules composantes; que c'est vers un point de cette médulle externe que se trouvent les cellules les plus grandes ; qu'à partir de là ces cellules vont décroissant de grandeur vers le dehors et vers le dedans, ce qui donne deux zônes ou couches de cellules; que l'épaisseur de ces couches n'est pas égale dans les tiges dont les inflexions sont opposées ; que dans celles qui cherchent la lumière, c'est la couche de cellules la plus interne, c'est-à-dire celle qui se rapproche le plus du centre qui est prédominante, tandis que dans les tiges qui fuient la lumière, c'est la couche la plus extérieure.

» Maintenant, M. Dutrochet a établi pour les tiges que les deux couches de cellules dont se compose l'écorce se courbent en sens inverse, la couche extérieure tendant par turgescence à se courber vers le dedans, et la couche intérieure tendant, au contraire, par turgescence, à se courber dans le sens de l'incurvation que présente la couche prédominante; que les tiges dont l'écorce, considérée dans toute son épaisseur, tend par turgescence à se courber en dedans, se dirigent vers la lumière; et qu'au contraire les couches dont l'écorce, considérée également dans toute son épaisseur, tend par turgescence à se courber en dehors, se dirigent en sens inverse à celui de l'afflux lumineux.

» Cela posé, voici comment, d'après M. Dutrochet, la lumière agit pour produire dans les caudex végétaux la tendance qu'ils manifestent à la rechercher ou à la fuir. La lumière augmente la transpiration végétale, ou, ce qui, sous un autre nom, est absolument la même chose, l'exhalation ; de cette augmentation d'exhalation, il résulte que le tissu cellulaire de la partie de l'écorce qui est frappée directement par la lumière perd une partie de sa turgescence, et, par suite, une partie de sa force d'incurvation; que si l'écorce tend à se courber en dehors, comme la médulle centrale tend toujours à se courber en dedans, l'incurvation en dehors devenant prépondé-

Digitized by Google

rante dans la moitié de la tige qui frappe la lumière, cette moitié entraînera l'autre dans le sens de son incurvation, c'est-à-dire dans le sens de l'afflux lumineux. Dans les tiges qui fuient la lumière, l'écorce et la médulle centrale tendent par turgescence à se courber en dehors; en frappant un des côtés de la tige, la lumière en diminue de ce côté l'incurvation en dehors; il s'ensuit que la moitié de la tige sur laquelle tombe la lumière ayant perdu une partie de son incurvation en dehors, tandis que, dans la moitié opposée, cette incurvation en dehors ne s'est point affaiblie, il s'ensuit, dis-je, que cette dernière moitié entraîne l'autre et que la tige fléchit dans le sens opposé à celui où la lumière afflue.

» Il s'agissait de savoir si les deux organisations différentes qui, selon la théorie de M. Dutrochet, produisent dans les tiges la recherche ou la fuite de la lumière, s'observaient aussi dans les racines qui manifestent ces deux tendances opposées; c'est ce dont je me suis occupé. Après avoir coupé, en tranches transversales aussi minces que possible, une portion de ces racines prises à dessein près de leur pointe, je les ai examinées au microscope. J'ai reconnu que dans la racine du chou, celles de l'*Isatis tinctoria* et de la moutarde blanche, qui fuient si énergiquement la lumière, c'est la couche corticale externe qui prédomine en épaisseur sur la couche corticale interne, ce qui se trouve complétement en harmonie avec la théorie que j'examine ici.

» Maintenant, les racines des *Allium* et des autres plantes que j'ai vues se diriger vers la lumière devraient, pour confirmer cette théorie, présenter dans leur écorce la prédominance en épaisseur de la couche interne, dont les utricules décroissent de grosseur de l'extérieur vers l'intérieur, sur la couche externe, dont les utricules offrent un ordre de décroissement inverse; mais ces résultats n'existent chez aucune de ces racines, excepté celles de moutarde blanche, quand elles se dirigent vers la lumière, ce qui arrive quelquefois.

» Les racines nées sur les tubercules de pommes de terre, celles des *Allium multiflorum* et *angulosum*, enfin celles de l'*Achirantes sessilis*, qui fuient la lumière, ne présentent point l'organisation des radicules du chou, ni de celles de l'*Isatis tinctoria*; elles sont organisées comme les racines des autres *Allium* qui montrent une tendance inverse.

Digitized by Google

» Ainsi il existe des racines fuyant la lumière qui ont une organisation semblable à celles qui la recherchent, et les unes et les autres n'offrent point, dans leur écorce, une structure pareille à celle de la médulle externe des tiges qui se fléchissent soit dans le sens de la lumière, soit dans le sens contraire.

» Ce n'est donc point dans une différence d'organisation que se trouve la cause de la courbure des racines dans des sens différents sous l'influence de la lumière, et la théorie de M. Dutrochet, à supposer qu'elle reste vraie pour les tiges, n'est du moins pas applicable aux racines.

» La recherche de la lumière par les racines me donnent l'occasion de faire ici quelques observations relativement à la tendance des radicules à se diriger vers le centre de la terre.

» Bien des causes ont été invoquées pour expliquer ce phénomène. Des physiologistes avaient pensé que les racines qui sont destinées à n'élaborer la matière que dans le sein de la terre, par conséquent dans l'obscurité, fuyaient la lumière, et que c'était à cette circonstance qu'il fallait attribuer leur direction; mais, si cette opinion tombait déjà devant l'expérience de M. de Candolle, qui, ayant fait germer des grains à la surface de l'eau contenue dans un tube transparent par en bas et opaque par en haut, vit les racines se diriger dans la partie transparente et les petites tiges dans la partie obscure; si cette opinion, dis-je, tombait déjà devant l'expérience de M. de Candolle, que devient-elle en présence des faits que j'ai observés et qui sont consignés dans ce mémoire?

» En résumé, j'ai établi d'une manière définitive, par des observations nouvelles, le fait si curieux de l'influence de la lumière sur les racines pour les déterminer à se diriger vers le point par où elle arrive ou à prendre une direction opposée.

» J'ai démontré le premier que la matière verte, qu'on avait considérée comme une condition indispensable à la courbure des caudex végétaux vers la lumière, n'est pas nécessaire, puisque le phénomène peut avoir lieu, quoique cette matière herbacée fasse défaut.

» Des faits contenus dans ce travail on peut déduire la conséquence, d'une part, que les théories qui ont été émises jusqu'à ce jour sur la tendance que manifestent les tiges à se porter ou vers la

Digitized by Google

lumière, ou dans le sens opposé à celui de son afflux, sont infirmées, et d'autre part, que l'on ne peut plus invoquer l'action de la lumière pour expliquer la direction des racines vers la terre. »

Nous voudrions ici pouvoir résumer en quelques propositions cet ensemble des travaux relatifs à l'action de la lumière sur la germination et la végétation des plantes; mais les conclusions des divers observateurs sont trop incertaines et trop contradictoires pour qu'il soit permis de formuler quelques principes généraux; la science est bien loin encore d'avoir dit son dernier mot sur cette difficile question.

Qu'il nous soit permis seulement d'appeler l'attention de nos lecteurs sur quelques considérations que l'avenir fécondera, nous l'espérons. 1° Les prétendues théories de MM. de Candolle et Dutrochet sont bien moins des explications du phénomène de la recherche et de la fuite de la lumière, que l'énoncé des conditions que les plantes doivent remplir, pour qu'elles puissent céder à l'une ou à l'autre de ces deux tendances. Nous avions espéré que M. Durand aurait au moins réuni les matériaux d'une explication rationnelle et démonstrative ; sous ce rapport, sa thèse laisse beaucoup à désirer. 2° La force qui pousse les plantes vers la lumière ou les en éloigne, force incessante, force continue, force puissante qui déplace même le centre de gravité des tiges déjà adultes, doit être une force mécanique. 3° La nature intime de cette force mécanique est encore un secret, mais nous croyons pouvoir au moins indiquer son genre et sa source ; la voici sans témérité. Tout le monde connaît le tourniquet hydraulique, vase rempli d'eau, suspendu à un fil, qui communique avec un long tube horizontal : aux deux extrémités du tube sont implantés perpendiculairement deux autres petits tuyaux aussi horizontaux, par lesquels l'eau s'écoule. Or, à mesure que les deux petits filets d'eau sortent dans une certaine direction, le vase tourne sur lui-même en sens contraire. Plus simplement, si dans un vase suspendu au plafond par un fil, et plein d'eau, on fait une petite ouverture, aussitôt que l'eau coulera on verra le vase se porter en sens contraire.

Cela posé, après y avoir longtemps réfléchi, nous croyons qu'il est absolument impossible d'assigner au phénomène de la recherche et de la fuite de la lumière par les plantes une autre cause qu'une

Digitized by Google

force mécanique analogue à celle qui met en mouvement le tourniquet hydraulique, et qui résulte de la sortie, par les innombrables pores de la tige ou de la racine, et du côté opposé à celui vers lequel se porte la plante, d'une multitude infinie de bulles de gaz. Chaque jet produit un effet mécanique infiniment petit, mais les millions de millions de jets, en s'ajoutant, peuvent très-bien produire l'effet total nécessaire à l'inflexion de la tige et au déplacement de son centre de gravité. Nous sommes assez habitués à voir dans la nature les forces les plus insensibles produire des effets mécaniques vraiment étonnants, pour que l'on puisse croire, sans trop de difficulté, à la réalité de l'explication que nous hasardons. La tige molle et sans consistance des plus petites herbes s'ouvre un passage à travers les terres les plus compactes, et désagrège les pierres les plus dures! Les plus petites causes, en s'ajoutant et s'exerçant d'une manière continue, sont capables des plus grands effets!

Notre hypothèse n'est pas tellement gratuite qu'elle ne puisse être démontrée par des expériences positives. S'il s'agit, par exemple, du phénomène très-général de la recherche de la lumière par les tiges des plantes, phénomène qui, dans notre théorie, suppose une émission, une exhalation gazeuse du côté de l'obscurité, on pourra constater la réalité de cette exhalation en suspendant de ce même côté de petits papiers imbibés de réactifs convenables. Les gaz émis sont très-probablement de l'acide carbonique ou de l'oxygène à l'état naissant. Les réactifs de l'acide carbonique sont nombreux; on choisira les plus appropriés. Nous croyons que du papier imbibé de sulfate de manganèse se colorerait en noir sous l'action de l'oxygène naissant. Au reste, nous avons prié un chimiste habile de penser avec nous au moyen de donner un corps à des idées que nous ne pouvons aujourd'hui qu'indiquer rapidement.

Ajoutons en terminant, qu'une fois la cause générale des phénomènes énoncée, il est facile de concevoir qu'ils se modifieront suivant la constitution des plantes, la nature de leurs tissus, etc., etc. L'exhalation pourra avoir lieu tantôt du côté obscur, tantôt du côté lumineux; d'une certaine manière pour les tiges, d'une certaine manière pour les racines, etc., etc.; de sorte qu'il y aura tantôt tendance vers la lumière, tantôt tendance vers l'obscurité, etc., etc. De plus longs détails seraient inutiles alors qu'il ne s'agit encore que

Digitized by Google

d'une supposition que les faits peuvent démentir. Nous laissons à des observateurs plus habiles et plus exercés à développer notre idée, si tant est qu'ils la jugent digne d'attention et d'examen.

Comme confirmation des idées que nous venons de développer, nous citerons les conclusions d'un beau mémoire de M. Gardner, sur les fonctions des plantes.

« Il résulte évidemment, dit-il, de ce qui précède, que les plantes constituent un système poreux. Les avantages provenant de cette manière d'envisager les plantes, avantages qui consistent surtout à rapprocher des faits jusqu'ici isolés, et à éclairer d'un nouveau jour l'ordre, les classifications expérimentalement établies entre les phénomènes de la physiologie végétale, sont sa principale recommandation. Cette théorie nous conduit, par exemple, à énoncer ces deux lois générales : 1° On ne peut fonder aucune hypothèse ni aucun raisonnement sur la composition des gaz expirés par les plantes, sans tenir compte de l'influence perturbatrice de la lumière et des gaz contenus dans les fluides du sol. 2° Aucune des expériences relatives à l'action des plantes sur la lumière solaire ne peut servir à la détermination des fonctions des feuilles, à moins que ces expériences n'aient été faites dans l'air atmosphérique. »

M. Gardner résume tout son travail dans ces quelques propositions :

« 1° L'épiderme des plantes est poreuse et permet un libre passage aux gaz, suivant les lois physiques.

» 2° Les racines, pendant toute l'existence des changemens chimiques qui se succèdent dans les plantes, aspirent, au sein des parties liquides du sol, autant de gaz qu'il est nécessaire pour maintenir l'équilibre de leur atmosphère intérieure.

» 3° La quantité de gaz contenu intérieurement dans les plantes varie avec l'action des forces qui agissent sur la plante pendant la durée de sa végétation verdoyante ; ce gaz intérieur est un mélange de 86, 75 d'azote, et 13, 25 pour cent d'oxygène ; pendant la nuit il contient plus d'oxygène et une certaine proportion d'acide carbonique. La porosité de la plante entière est pleinement établie par son action sur des atmosphères artificielles.

» Par conséquent, la structure physique des plantes est celle d'un système poreux, soumis aux lois de la diffusion des gaz, et qui n'a pas d'autre vitalité que le pouvoir de former des alvéoles, et d'arranger des cellules suivant un type défini d'avance. »

Digitized by Google

La porosité est donc le caractère principal des plantes, et nous avons bien fait de demander à cette porosité l'explication des phénomènes singuliers de la tendance et de la fuite de la lumière.

Puisque nous pouvons disposer de quelques lignes encore, citons une observation curieuse et inédite.

M. Niepce de Saint-Victor à trouvé que la méthode la plus excellente de conserver les fruits, les pommes, par exemple, consistait à les envelopper d'une couche de plâtre, laquelle en se solidifiant mettait le fruit à l'abri de toute influence mauvaise. Il crut que ce moyen réussirait aussi pour la pomme de terre ; il n'en fut rien, et voici ce qui arriva. Les germes se formèrent : comme impatiens de l'obscurité, ils s'allongèrent, tournèrent et se replièrent incessamment sur eux-mêmes, sans trouver jamais d'issue. Le tubercule, absorbé par la nutrition des germes, diminua de plus en plus, et finit par s'épuiser complétement ; il n'en resta plus de trace, et quand on brisa le plâtre, on ne trouva plus que des spires superposées de germes qui avaient longtemps et en vain couru après la lumière.

Digitized by Google

COMPLÉMENT

DU

RÉPERTOIRE D'OPTIQUE.

Nous avons parcouru le cercle entier des phénomènes de la lumière; nous avons arraché au spectre solaire ses derniers secrets, aucun de ces rayons; aucun des effets qu'ils produisent n'a échappé aux savantes recherches que nous avons analysées; et s'il avait pu être terminé il y a deux ans, notre répertoire n'aurait rien laissé à désirer, il eût été tout à fait à jour de la science. Mais l'optique, pendant ces deux années, a fait des progrès nouveaux, presque chaque semaine a vu surgir de nouveaux mémoires : reprenons donc courage, et continuons nos consciencieuses analyses.

Nous conserverons dans ce complément le même ordre que dans le répertoire, c'est-à-dire que nous rangerons les mémoires, non d'après l'ordre chronologique, mais suivant les phénomènes dont ils traitent.

I. NATURE DE LA LUMIÈRE; HYPOTHÈSES QU'ELLE A FAIT NAÎTRE. — *Idées sur les vibrations des rayons lumineux*, par M. Faraday.

Nous laisserons parler l'illustre physicien, les aperçus du génie doivent toujours être accueillis avec empressement, respect et reconnaissance :

« Je vais m'efforcer de donner ici quelques développements sur ce

Digitized by Google

que je me suis hasardé à dire, le 10 avril, à l'Institution royale de Londres : mais en commençant, comme en finissant, je déclare que ce que j'ai avancé, je l'ai présenté comme de simples conjectures, comme les impressions vagues de mon esprit, et non comme le résultat d'un examen suffisant, encore moins comme une conviction arrêtée ou même probable à laquelle je serais arrivé.

» Le point précis sur lequel j'appelais l'attention des auditeurs consistait à savoir s'il ne serait pas possible d'admettre que les vibrations, qu'on suppose, dans une certaine théorie, rendre compte des radiations lumineuses et des phénomènes qui l'accompagnent, s'expliquent à l'aide des lignes de force qui relient les particules, et par conséquent les masses de matière ensemble, sans qu'on soit forcé de recourir à l'éther, que, dans une autre hypothèse, on suppose être le milieu au sein duquel ces vibrations ont lieu.

» Vous connaissez sans doute les considérations abstraites que j'ai développées, il y a quelques temps, sur l'idée que l'on doit se former de la nature intime de la matière, idées suivant lesquelles ses derniers atomes seraient des centres de force et non point de petits solides soumis à des forces d'attraction et de répulsion, réellement distincts, par conséquent, indépendants des forces, et capables d'exister sans elles. Sous ce dernier point de vue, ces petites particules ont une forme définie et une certaine dimension limitée ; sous le premier, il n'en est plus ainsi, car ce qui représente la dimension peut être considéré comme s'étendant à une distance quelconque à laquelle les lignes de force de la particule s'étendent elles-mêmes ; la particule est supposée exister seulement par ces forces et être présente là où elles existent. La considération de la matière dans ce mode d'envisager la question m'a conduit graduellement à regarder les lignes de force comme étant peut-être le siége des vibrations des phénomènes lumineux.

» Une autre considération s'appuyant simultanément sur l'idée hypothétique, tant de la matière que des radiations lumineuses, surgit de la comparaison des vitesses avec lesquelles l'action rayonnante et certaines forces de la matière sont transmises. La vitesse de la lumière à travers l'espace est d'environ 190 milles par seconde, celle de l'électricité est, d'après les expériences de M. Wheatstone, aussi grande, sinon davantage ; on suppose que la lumière se transmet par

Digitized by Google

vibrations à travers l'éther, qui est pour ainsi dire dépourvu de gravité, mais dont l'élasticité est infinie; l'électricité qui s'écoule à travers un petit fil métallique est souvent considérée comme transmise aussi par des vibrations. On ne peut guères révoquer en doute que le transport électrique dépende des forces inhérentes à la matière du fil, quand on considère la conductibilité différente des différents corps métalliques ou autres, les moyens qu'on possède de modifier cette conductibilité par la chaleur ou le froid, la nouvelle raison d'être des corps conducteurs entrés en combinaison intime avec des substances non conductrices et réciproquement, l'existence enfin d'un corps élémentaire, le carbone, qui est tantôt conducteur, tantôt non-conducteur. La force de conduction électrique, qui est une force de transmission analogue à celle de la lumière, paraît donc se rattacher aux propriétés de la matière, être sous leur dépendance et exister en réalité par elles.

» Je suppose que nous pouvons établir une comparaison entre la matière de l'éther et la matière ordinaire, par exemple, le cuivre du fil à travers lequel l'électricité est conduite, et les considérer comme semblables dans leur constitution essentielle, c'est-à-dire comme composées toutes deux de petits noyaux considérés abstractivement, soit comme l'ensemble de petits solides associés à des forces, soit comme consistant simplement en centres de force, suivant la théorie de Boscovick et l'opinion mise en avant par moi; car il n'y a pas de motifs pour admettre que les noyaux réels soient plus nécessaires dans un cas que dans l'autre. Il est vrai que le cuivre gravite, et qu'il n'en est pas de même de l'éther; et par conséquent que le cuivre est pondérable, tandis que l'éther ne l'est pas; mais la gravitation ne saurait indiquer la présence de noyaux dans le cuivre, plutôt que dans l'éther, car de toutes les propriétés de la matière, la gravité est celle qui s'étend à la plus grande distance possible du noyau hypothétique; sa sphère d'action est infinie, relativement aux dimensions de celui-ci, et le réduit équivalemment au rôle de pur centre de force. Le plus petit atome de matière sur la terre réagit directement sur l'atome le plus minime de la matière du soleil, quoiqu'ils soient placés à une distance de 95,000,000 milles. De plus, les atomes que nous savons être à une distance dix-neuf fois plus grande, et même bien plus loin, sous forme de masses cométaires, sont de même liés

Digitized by Google

entre eux par des lignes de force qui s'étendent des uns aux autres et leur sont propres. Qu'y a-t-il dans la condition des molécules du prétendu éther, s'il existe seulement une seule molécule semblable entre nous et le soleil, qu'on puisse leur comparer sous le rapport de la subtilité et de l'étendue?

» Ne nous en laissons pas imposer par la pondérabilité et la gravité de la matière, comme si elles démontraient la présence des noyaux abstraits ; ces propriétés sont dues, non pas aux noyaux, mais aux forces qui leur sont sur-ajoutées, si tant est que les noyaux existent : et si les particules d'éther sont dépourvues de cette force, ce qui, suivant l'hypothèse, se trouve être le cas, dès lors, ils sont plus matériels, dans le sens abstrait, que la matière de notre globe ; car la matière, suivant cette hypothèse, étant composée de noyaux et de forces, les molécules d'éther ont, sous ce rapport, proportionnellement, plus de noyau et moins de force.

» D'un autre côté, l'élasticité infinie qu'on suppose appartenir aux particules de l'éther est une force aussi remarquable et positive pour elles que la gravité peut l'être pour les particules pondérables, et produit dans son genre des effets aussi grands ; c'est ainsi, pour preuve, que nous avons toutes les variétés de rayonnement dans les phénomènes lumineux, calorifiques et chimiques.

» Peut-être suis-je dans l'erreur en pensant que l'idée générale qu'on se fait de l'éther est que ses noyaux sont infiniment petits, et que la force qu'il possède, à savoir, son élasticité, est presque infiniment intense. Mais si c'est là la notion reçue, que reste-t-il dans l'éther, si ce n'est de la force ou des centres de force? Comme la gravité et la solidité ne lui appartiennent pas, peut être beaucoup de gens adopteront-ils cette conclusion. Mais qu'est-ce que c'est que la gravité et la solidité ? L'une est la conséquence d'une force *attractive* qui peut agir à des distances aussi grandes que celles que l'esprit de l'homme peut évaluer ou concevoir, et l'autre est la conséquence d'une force *répulsive* qui s'oppose à toujours au contact de deux noyaux quelconques ; de façon que ces forces ou propriétés ne pourraient conduire en aucune façon ceux qui conçoivent l'éther comme une chose consistant en une force seulement à penser à aucun autre genre de matière pondérable, excepté à celle qui a plus de forces et des forces autres associées avec elle que n'en a l'éther.

Digitized by Google

» Dans la physique expérimentale, on peut, par les phénomènes qui se présentent, reconnaître différents genres de force ; ainsi, il y a les lignes de force de la gravité, les lignes d'induction électrostatique, les lignes d'action magnétique, et peut-être pourrait-on y comprendre encore d'autres lignes possédant un caractère dynamique. Les lignes d'action électrique et magnétique sont considérées par beaucoup de physiciens comme s'exerçant à travers l'espace, de même que les lignes de force de la gravité. Quant à moi, je suis disposé à croire que s'il y a interposition de particules de matière (particules qui ne sont elles-mêmes que des centres de forces), elles participent à la propagation de la force sur la ligne, mais que quand il n'y en a pas, la ligne marche dans l'espace. Quelle que soit l'opinion que l'on adopte à leur égard, nous pouvons, dans tous les cas, donner à ces lignes de force une constitution telle qu'on puisse concevoir qu'elle participe à la mesure d'un ébranlement ou d'une vibration latérale ou transversale. Car, supposons deux corps A et B placés à distance l'un de l'autre et soumis à une action mutuelle, et par conséquent liés entre eux par des lignes de forces, et fixons notre attention sur une résultante de force ayant une direction invariable relativement à l'espace ; si l'un de ces corps se déplace d'une petite quantité à droite ou à gauche, ou si la force qu'il exerce est modifiée ou changée pour un moment au sein de sa masse (ni l'un ni l'autre de ces cas n'est difficile à réaliser, si A et B sont des corps soit électriques, soit magnétiques), alors il se produit un effet équivalent à une perturbation latérale pour la résultante sur laquelle nous fixons notre attention ; car, ou bien elle augmentera en force, tandis que les résultantes voisines diminueront, ou bien sa force décroîtra à mesure que celle des autres augmentera.

» On peut demander quelles sont les lignes de force dans la nature qui sont disposées pour transmettre une pareille action et pour suppléer à l'éther dans la théorie des vibrations. Je ne prétends pas répondre à cette question avec une confiance absolue ; tout ce que je puis dire, c'est que je n'aperçois dans aucun lieu de l'espace (soit vide, pour me servir de l'expression vulgaire, soit rempli de matière) rien que des forces et les lignes suivant lesquelles elles s'exercent. Les lignes de pesanteur ou de force de gravitation sont assurément assez étendues pour nous mettre à même de répondre à toutes les

Digitized by Google

exigences des phénomènes de rayonnement ou radiation, et il en est probablement de même de la force magnétique. D'ailleurs, qui pourrait oublier que M. Mossotti a démontré que la gravité, que la cohésion, la force électrique, l'action électro-chimique, peuvent avoir une liaison et une origine presque communes, et qu'il en est de même de leurs actions à distance, en ce sens qu'elles pourraient toutes avoir cette extension indéfinie que possèdent quelques-unes d'entre elles ?

» Dans l'hypothèse que je hasarde, on considère donc le rayonnement comme une espèce élevée de vibration suivant les lignes de force qui lient entre elles les molécules aussi bien que les masses de matière condensée. Elle tend à supprimer l'éther, mais non les vibrations. Le genre de vibration qui, je crois, peut rendre raison des phénomènes merveilleux, variés et magnifiques de la polarisation, n'est pas le même que celui qui se présente à la surface des eaux troublées, ou des ondes sonores dans les gaz ou les liquides, car les vibrations, dans ce cas, ont lieu en ligne droite, et partent du centre d'action pour y revenir, tandis que les premières sont latérales ou transversales. Il me semble que la résultante de deux ou d'un plus grand nombre de lignes de force est dans une condition plus en rapport avec le genre d'action équivalent à un système de vibration latérale, tandis qu'un milieu uniforme comme l'éther semble naturellement devoir se comporter dans ses ondulations comme le font naturellement l'air et l'eau.

» Un changement qui survient à l'une des extrémités de la ligne de force fait aisément concevoir un changement consécutif dans l'autre extrémité. La propagation de la lumière, comme tous les effets produits par une action rayonnante, exige du temps, et par conséquent, pour que les vibrations des lignes de force rendent compte des phénomènes de rayonnement, il est nécessaire que ces vibrations exigent elles-mêmes un certain temps. J'ignore s'il existe des données au moyen desquelles on pourrait s'assurer que les actions semblables à celle de la gravitation se produisent sans l'intermédiaire du temps, ou si les lignes de force étant déjà constituées, les perturbations latérales excitées à l'une de leurs extrémités, comme je l'ai indiqué ci-dessus, ne se feront sentir qu'après un certain temps, ou se manifesteront instantanément à l'autre extrémité.

Digitized by Google

» Quant à la condition imposée aux lignes de force de représenter la grande élasticité présumée de l'éther, notre hypothèse ne peut pas faillir sous ce rapport ; la question semble plutôt être de savoir si ces lignes seront assez paresseuses dans leur action mutuelle pour rester comparables à l'éther sous le rapport du temps reconnu nécessaire, expérimentalement, à la transmission de la force rayonnante.

» L'éther, présume-t-on, pénètre tous les corps aussi bien que l'espace : dans l'opinion mise ici en avant, ce sont les forces exercées par les centres atomiques d'action qui pénètrent et constituent tous les corps et se font sentir successivement dans tout l'espace. Relativement à l'espace, dans les théories admises, l'éther présente des noyaux matériels et des lignes d'action ; dans notre hypothèse, il n'y a plus que des centres d'action. Quant à la matière, la différence consiste en ce que l'éther existe entre les particules et transmet les vibrations, tandis que dans notre hypothèse, c'est par les lignes de force établies entre les centres des particules que les vibrations se propagent. En ce qui touche la différence en intensité des actions produites au sein de la matière, je crains que sous ce nouveau point de vue il ne soit très-difficile d'arriver à une conclusion ; car lorsque nous considérons l'état le plus simple de la matière ordinaire, celui qui se rapproche le plus de la condition de l'éther, savoir, l'état de gaz permanent, ne trouvons-nous pas que, dans son élasticité et la répulsion mutuelle de ses molécules, il s'éloigne de beaucoup de la loi qui veut que l'action soit en raison inverse du carré de la distance.

» En concluant, je dirai que je n'aurais pas donné de publicité à ces notions, si je n'avais pas été amené malgré moi, et sans préparation, à remplacer un autre professeur. Aujourd'hui que je les ai imprimées, je m'aperçois que j'aurais dû les garder en réserve plus longtemps pour en faire le sujet d'études ou de réflexions assidues, ou peut-être pour les rejeter définitivement ; c'est seulement parce qu'elles circuleront d'une manière ou d'une autre par la publication orale qu'elles ont reçue à la dernière séance, que je leur donne une forme, si l'on peut donner ce nom à ce court exposé. Il y a une chose certaine, c'est que toute opinion hypothétique sur le rayonnement, qu'on acceptera comme satisfaisante, ne doit plus dès à présent comprendre seulement certains phénomènes de la lumière, mais embras-

Digitized by Google

ser en même temps ceux de la chaleur et de l'action chimique, et même les phénomènes qui les accompagnent, comme la chaleur sensible et les effets chimiques. Sous ce rapport, une hypothèse qui est fondée uniquement sur la nature connue des forces ordinaires de la matière peut mériter quelque considération, parmi les mille hypothèses qui prendront naissance dans d'autres considérations. J'ai sans doute commis de nombreuses erreurs dans les lignes précédentes, car, pour moi-même, les idées que je viens de développer apparaissent encore comme une ombre abstraite ou comme l'une de ces impressions de l'esprit que l'on peut admettre pendant quelque temps, pour s'en servir comme d'un guide dans les méditations et les recherches. Ceux qui s'adonnent aux recherches expérimentales savent combien ces impressions sont nombreuses, et aussi combien il arrive fréquemment que leur exactitude ou leur beauté apparente s'évanouissent à mesure que la vérité se dégage de ses voiles et devant la réalité de la nature. »

Nous discuterons ailleurs ces profonds aperçus de M. Faraday ; en attendant, insérons les remarques dont elles ont été l'objet de la part d'un autre physicien célèbre, M. Airy.

REMARQUES *sur un article de M. Faraday, relatif aux vibrations des rayons lumineux ;* par *M. G.-B. Airy.*

« Je me propose de présenter quelques remarques critiques ou du moins de suggérer aux autres quelques idées relatives à l'examen des hypothèses fondamentales du dernier Mémoire de M. Faraday, ou de rechercher jusqu'à quel point ces hypothèses sont circonscrites par les phénomènes connus, et jusqu'à quel point le sujet traité est du domaine de la physique ou de la métaphysique.

» Ce mémoire traite de deux objets : 1° la possibilité d'expliquer les phénomènes du rayonnement, plus spécialement celui de la lumière, en supposant que lorsqu'il n'y pas de corps interposé sur la route du rayon lumineux, les vibrations qu'on prétend être la base des ondulations produisant les phénomènes sont transmises sur les lignes de force, par ce que, à défaut d'expression reçue, on peut appeler *ébranlements latéraux ou transversaux ;* 2° la possibilité d'écarter l'idée de *substance* et d'y substituer celle de *centres de force.* — Je traiterai ces deux sujets dans le même ordre que je les ai présentés.

Digitized by Google

» 1° Relativement à la transmission de la lumière à travers les espaces planétaires, le docteur Faraday et moi nous sommes d'accord pour considérer la théorie ondulatoire de la lumière avec vibrations transversales comme applicable aux phénomènes qui se présentent dans les expériences optiques ordinaires. En conséquence, sans prétendre ici dogmatiser sur ce sujet, j'adopterai la théorie ondulatoire dans toutes les remarques suivantes.

» On admet que les vibrations formant des ondulations progressives sont nécessaires pour expliquer certains phénomènes que présentent les cristaux et quelques autres encore; mais moi, j'irai plus loin, je dirai que les ondulations progressives (en laissant indéterminée la nature de leurs vibrations) sont nécessaires pour expliquer les phénomènes de diffraction, et ces ondulations progressives ne doivent pas être de la nature des ébranlements rayonnants, dans lesquels chaque ébranlement dérive sa propriété ou son existence de l'influence momentanée de l'origine distante, mais elles doivent être de véritables ondes dont le caractère mécanique est que le mouvement d'une série de particules est déterminé par le mouvement relatif de la précédente série, l'ordre de *précédence* et de succession ne se bornant pas à la ligne radiale ou à des lignes quelconques, mais étant tel que le mouvement des particules doive être une origine de mouvement pour d'autres molécules groupées autour d'elles dans l'intérieur d'un angle solide très-étendu. Je défie d'ajuster une théorie de lignes radiales soumises à des ébranlements latéraux de manière à donner une explication de la diffraction, et je dis qu'il sera absolument nécessaire, dans la théorie qui expliquera cette diffraction, que chaque perturbation de molécules produise une vague ou flot (pour nous servir d'un mot employé au mouvement des eaux), lequel flot se propagera suivant toutes les directions au moins dans l'étendue d'un angle solide très-considérable. Or, les conséquences qu'on peut tirer de ce point sont très-importantes. La diffraction a lieu dans l'air, par conséquent le milieu en état de vibration existe dans l'air et les ondulations sont transmises par lui et non pas par des ébranlements latéraux. Aussi loin qu'on peut porter la ténuité ou le degré de raréfaction de l'air, il produit la réfraction; or, la réfraction exige impérieusement, pour être expliquée, un changement de vitesse dans les ondulations et en même temps une force propre

Digitized by Google

à changer la direction de la marche à un degré exactement correspondant au changement de vitesse. Ces changements s'expliquent de la manière à la fois la plus simple et la plus naturelle par la théorie d'ondes véritables dans laquelle le flot produit par chaque molécule se propage suivant toutes les directions dans un angle très-étendu, tandis, je crois, qu'on trouvera quelque difficulté à modifier la théorie des ébranlements rayonnants de manière à pouvoir les expliquer ; par conséquent, je considère comme démontré que la propagation d'ondes véritables a lieu dans l'air jusqu'à des limites extrêmes. Nous ne pouvons faire aucune expérience au delà de l'existence de l'air sensible, et je suis tout prêt à admettre que si nous supposions que l'air et l'éther qui l'accompagnent (s'il en diffère) se terminent à une limite distincte et que les ébranlements latéraux se propagent en rayonnant à travers les espaces planétaires jusqu'à cette limite, et enfin que chaque ébranlement, à mesure qu'il se présente, soit l'origine d'un flot qui se propage à travers l'éther, les phénomènes de la lumière seraient alors expliqués. Mais ici, une circonstance remarquable vient frapper nos esprits. Un instant de réflexion montrera qu'à cette limite la marche de la lumière sera soumise à la réfraction, absolument de la même manière que la lumière incidente a consisté en ondulations, et en suivant la même loi de dépendance relativement à la vitesse de propagation. Or, il est aujourd'hui surabondamment établi qu'à la limite de notre atmosphère il n'y a pas de réfraction sensible, c'est-à-dire que la vitesse de propagation n'est pas sensiblement altérée. Cela posé, n'est-ce pas une circonstance très-curieuse qu'il y ait eu un système d'ébranlements rayonnants en dedans qui propagent les ondulations exactement avec la même vitesse ? Y a-t-il un seul physicien qui soit disposé à admettre comme vraie cette idée de deux causes indépendantes de vitesse et cet accord exact entre des vitesses indépendantes, alors que cet accord existera nécessairement si le même milieu vibrant ou l'éther occupe tout l'espace ? Certainement ce ne sera pas moi. Tout disposé que je sois à admettre un pareil saut de la nature à la surface du verre et des cristaux où les phénomènes de la lumière sont totalement modifiés, je ne pourrai jamais être amené à croire qu'il existe, soit dans l'air, où le changement des phénomènes est graduel, soit aux limites de l'air, où il n'y a pas de

Digitized by Google

changement du tout. En un mot, je dois admettre la même théorie de la lumière pour les espaces planétaires et pour l'air dans lequel nous faisons nos expériences de diffraction, et cette théorie doit être celle des véritables ondes.

» Je n'insiste pas sur la nouveauté de cette conception, que les influences latérales ont lieu suivant une succession mobile le long d'une ligne radiale, suivant un mode différent de tout ce qui nous est connu. Je sais parfaitement bien que cette théorie a seulement été ébauchée par M. Faraday comme le résultat d'un examen rapide, et qu'elle pourrait, en quelque sorte, se modifier dans ses détails par les réflexions de l'auteur ; mais, dans tous les cas, tant qu'on conservera ses traits distinctifs à cette théorie, elle restera, par les motifs que j'ai donnés, inadmissible pour moi. Dans tous les cas, cette théorie est, dans mon opinion, un beau sujet d'étude pour les physiciens.

» 2° Quant à ce qui concerne la substitution des centres de force à la matière, cette spéculation diffère peu dans son caractère général de la célèbre recherche touchant la substance et les accidents. Dans cette dernière, la question consiste à savoir si, lorsque nous avons trouvé qu'une agrégation de matière possédait certaines formes, certaines couleurs, un certain poids ou autres propriétés, nous pouvons nous en rendre compte en disant que cette agrégation de matière est un composé de cette forme, de cette couleur, de ce poids, etc. Dans la spéculation dont il s'agit, la question est de savoir si, au lieu de la matière qui exerce certaines actions sur une autre matière, nous pouvons admettre qu'il n'y a rien qu'un nombre de centres de force produisant ces actions. Je pense que la plupart des lecteurs conviendront que l'esprit n'est pas non plus satisfait par cette hypothèse, et qu'il faut y ajouter l'idée de quelque chose comme base de ces centres de force. Mais cette question, selon moi, est purement métaphysique et tout-à-fait en dehors du domaine de la physique.

» J'admets volontiers et largement que cette hypothèse des centres de force est satisfaisante. L'attraction ou la répulsion mécanique (en comprenant le poids sous la première expression), la couleur, le rayonnement de toute espèce, quand l'existence de quelque chose d'intermédiaire entre le corps rayonnant et le corps qui reçoit les rayons n'est pas visiblement démontrée, tout cela, je pense, peut

Digitized by Google

être admis sans scrupule comme le résultat de purs centres de force. Mais il y a une propriété dont M. Faraday a oublié de faire mention dans son mémoire, et qui me paraît inconciliable avec la notion des centres de force : je veux parler de l'inertie. Je crois que la notion générale de la substance est en réalité fondée sur la perception de l'inertie. Établissez pour quelqu'un une masse de matière possédant une forme, une couleur et autres attributs invariables, même l'attraction : s'il trouve que cette masse cède à la force musculaire ou autre sans résistance sensible (peu importe qu'elle conserve ou non la même vitesse), il se fera à peine scrupule d'admettre qu'il n'y a pas de substance. Mais tant qu'il y aura résistance à la force, il ne semble pas possible de se débarrasser de l'idée de substance. — Peut-être dira-t-on que l'on peut aussi représenter l'inertie par des centres de force, en supposant seulement que le développement de la force dépend en quelque sorte du temps. Tel n'est pas toujours le caractère des forces que nous connaissons le mieux, et l'introduction de cette idée paraît seulement compliquer la théorie de la force centrale plus qu'elle ne l'est par l'idée de substance dans la théorie matérielle. — Maintenant je dis que, dans la théorie ondulatoire de la lumière et dans toutes les théories où l'amplitude des vibrations ne diminue pas d'une manière transcendante par rapport à la distance franchie par l'onde, la supposition de l'inertie (ou quelque chose d'équivalent) est absolument nécessaire. C'est ce qui paraîtra évident pour tout géomètre qui comparera les résultats obtenus avec les hypothèses différentes d'inertie et de non-inertie. En combinant cette induction avec celle obtenue précédemment touchant l'universalité des ondulations dans l'espace, je suis amené à conclure que tout espace qui nous est connu renferme quelque chose présentant la propriété qu'on appelle inertie. Les raisons qui m'ont conduit à cette conclusion me paraissent décisives, mais j'admets que c'est aussi un ample sujet de doute et de discussion pour les physiciens. Mais que nous soyons amenés par ces considérations à admettre qu'il y a de la matière dans tout l'espace, c'est dans mon opinion une question du ressort des métaphysiciens.

» Les remarques que je viens de faire me permettront de répondre à un paragraphe du mémoire de M. Faraday, ainsi conçu : « Peut-être suis-je dans l'erreur en pensant que l'idée qu'on se forme géné-

Digitized by Google

ralement de l'éther est celle que les noyaux qui le constituent sont infiniment petits, et que la force qu'il possède, à savoir, son élasticité, est presque infiniment intense. Or, si c'est là la notion admise, que reste-t-il dans l'éther, si ce n'est la force ou des centres de la force? » A cela je réponds que l'expression *presque infiniment* ne présente pas d'autre idée que celle de quelque chose de fini, et par conséquent l'éther supposé d'après cette description est précisément dans la même catégorie que tous les autres fluides. Mais j'ajoute, relativement à la dernière phrase, que les considérations que j'ai developpées ci-dessus démontrent qu'il y a quelque chose dans l'éther indépendamment des forces ou des centres de force, savoir, l'inertie. Je répète, du reste, cette expression de mon opinion individuelle, qu'il est plus facile de concevoir les phénomènes comme indiquant une substance (quelque obscure que puisse être cette idée), que d'échafauder un système de lois s'appliquant à des centres de forces représentant leurs effets également bien. »

II. Propagation et vitesse de la lumière.

Nous sommes heureux cette fois de pouvoir annoncer que la science a fait une brillante conquête. La belle expérience par laquelle M. Hippolyte Fizeau a mesuré directement la vitesse de la lumière est un de ces faits mémorables dont l'histoire consacre à jamais le souvenir. L'étonnant accord de la vitesse expérimentalement mesurée avec la vitesse théorique déduite par Bradley, du phénomène de l'aberration, avec la vitesse calculée par Roemer, au moyen de l'observation des satellites de Jupiter, est un véritable événement scientifique. M. Fizeau est éminemment habile, et, ce qui est mieux encore, éminemment heureux. Ce dernier travail le place au premier rang des physiciens, et la première place vacante au sein de l'Institut lui appartient de droit. Nous regrettons de ne pouvoir transmettre à nos lecteurs qu'une note très insuffisante sur une aussi grande question ; mais c'est tout ce que M. Fizeau a communiqué : le devancer dans l'exposition de son magnifique travail, ce serait l'offenser.

Sur une expérience relative à la vitesse de propagation de la lumière, par M. H. Fizeau. — « Je suis parvenu à rendre sensible la vitesse de la lumière par une méthode qui me paraît fournir un

Digitized by Google

moyen nouveau d'étudier avec précision cet important phénomène. Cette méthode est fondée sur les principes suivants :

» Lorsqu'un disque tourne dans son plan autour du centre de figure avec une grande rapidité, on peut considérer le temps employé par un point de la circonférence pour parcourir un espace angulaire très-petit $\frac{1}{1000}$ de la circonférence, par exemple :

» Lorsque la vitesse de relation est assez grande, ce temps est généralement très-court ; pour dix et cent tours par seconde, il est seulement de $\frac{1}{1000}$ et $\frac{1}{10000}$ de seconde. Si le disque est divisé à sa circonférence, à la manière des roues dentées, en intervalles égaux, alternativement vides et pleins, on aura, pour la durée du passage de chaque intervalle par un même point de l'espace, les mêmes fractions très petites.

» Pendant des temps aussi courts, la lumière parcourt des espaces assez limités, 31 kilomètres pour la première fraction, 3 kilomètres pour la seconde.

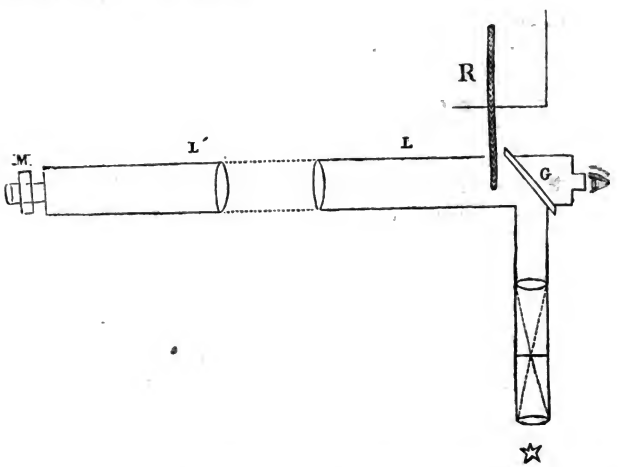
» En considérant les effets produits lorsqu'un rayon de lumière traverse les divisions d'un tel disque en mouvement, on arrive à cette conséquence, que, si le rayon, après son passage, est réfléchi au moyen d'un miroir et renvoyé vers le disque, de manière qu'il le rencontre de nouveau dans le même point de l'espace, la vitesse de propagation de la lumière pourra intervenir de telle sorte, que le rayon traversera ou sera intercepté suivant la vitesse du disque et la distance à laquelle aura lieu la réflexion.

» D'une autre part, un système de deux lunettes dirigées l'une vers l'autre, de manière que l'image de l'objectif de chacune d'elles se forme au foyer de l'autre, possède des propriétés qui permettent de réaliser ces conditions d'une manière simple. Il suffit de placer un miroir au foyer de l'une, et de modifier le système oculaire de l'autre, en interposant, entre le foyer et l'oculaire, une glace transparente inclinée sur l'axe de 45 degrés, et pouvant recevoir latéralement la lumière d'une lampe ou du soleil, qu'elle réfléchit vers le foyer. Avec cette disposition, la lumière qui traverse le foyer dans l'étendue supposée très petite de l'image qui représente l'objectif de la seconde lunette est projetée vers celle-ci, se réfléchit à son foyer, et revient

Digitized by Google

en arrière en traversant le même espace, pour passer de nouveau par le foyer de la première lunette, où elle peut être observée au moyen de l'oculaire et à travers la glace.

La figure ci-jointe donnera une idée suffisante de l'appareil employé par M. Fizeau. L'étoile indique la source lumineuse dont les rayons, rendus parallèles par un système de deux lentilles, tombent sur la glace inclinée G placée au foyer de la première lunette, et vont se réfléchir sur le miroir M, placé au foyer de la seconde lunette ; R est la roue dentée.



» Cette disposition réussit très-bien, même en éloignant les lunettes à des distances considérables : avec des lunettes de 6 centimètres d'ouverture, la distance peut être de 8 kilomètres sans que la lumière soit trop affaiblie. On voit alors un point lumineux semblable à une étoile, et formé par de la lumière qui est partie de ce point, a traversé un espace de 16 kilomètres, puis est revenue passer exactement par le même point avant de parvenir à l'œil.

» C'est sur ce point même qu'il faut faire passer les dents d'un disque tournant pour produire les effets indiqués ; l'expérience réussit très-bien, et l'on observe que, suivant la vitesse plus ou moins grande de la rotation, le point lumineux brille avec éclat ou

Digitized by Google

s'éclipse totalement. Dans les circonstances où l'expérience a été faite, la première éclipse se produit vers 12,6 tours par seconde; pour une vitesse double, le point brille de nouveau; pour une vitesse triple, il se produit une deuxième éclipse ; pour une vitesse quadruple, le point brille de nouveau, et ainsi de suite.

» La première lunette était placée dans le belvédère d'une maison située à Suresnes, la seconde sur la hauteur de Montmartre, à une distance approximative de 8633 mètres.

» Le disque, portant sept cent vingt dents, était monté sur un rouage mu par des poids et construit par M. Froment ; un compteur permettait de mesurer la vitesse de rotation. La lumière était empruntée à une lampe disposée de manière à offrir une source de lumière très-vive.

» Les premiers essais fournissent une valeur de la vitesse de la lumière peu différente de celle qui est admise par les astronomes. La moyenne déduite des vingt-huit observations qui ont pu être faites jusqu'ici donne, pour cette valeur, 70,843 lieues de 25 au degré.

» J'aurai l'honneur de soumettre au jugement de l'Académie un Mémoire détaillé, lorsque toutes les circonstances de l'expérience auront pu être étudiées d'une manière plus complète. »

On a dit, il y a longtemps, qu'il était de la nature des grandes pensées, des idées heureuses, des inventions éclatantes, qu'elles planent en quelque sorte dans l'atmosphère et qu'elles font irruption à la fois dans plusieurs esprits distingués. Ainsi, MM. Leverrier et Adams pressentaient à la fois la présence de Neptune dans les profondeurs des cieux, etc., etc. Voici comme une preuve nouvelle de ces mystérieuses coïncidences.

Un homme modeste, qui s'indignerait si nous avions même la pensée de revendiquer pour lui une portion infiniment petite de la gloire acquise par M. Fizeau, M. l'abbé Laborde, professeur de physique au petit séminaire de Corbigny, avait conçu et discuté il y a cinq ou six ans l'expérience si admirablement exécutée par M. Fizeau. Il avait écrit à ce sujet à M. Arago une lettre perdue, hélas ! dans l'immense portefeuille de l'Observatoire, et que nous reproduisons, tant pour la curiosité du fait, que pour la consolation d'un travailleur consciencieux.

On remarquera que M. l'abbé Laborde ne donne pas même l'idée de l'appareil optique qui devait ramener au point de départ le rayon

Digitized by Google

réfléchi au loin ; c'est en cela surtout qu'il a fait preuve d'infériorité. On peut dire que la plus grande gloire de M. Fizeau est la création de son appareil ; l'association des deux lunettes est une de ces idées sublimes et fécondes qui dénotent évidemment un esprit supérieur.

Laissons maintenant parler M. Laborde.

« Soit une roue plate et percée près de son contour de trous carrés, séparés les uns des autres par des intervalles pleins, de mêmes dimensions que les trous. Supposons un instant cette roue fixée à l'extrémité d'un axe inflexible se prolongeant jusqu'à 70 milles lieues, pour recevoir à son extrémité opposée une roue en tout semblable à la première, dont les trous et les intervalles pleins correspondent exactement à ceux de la première roue. Tout étant en repos, si un rayon lumineux pénètre par un des trous de la première roue, il est clair que, se propageant en ligne droite, il viendra, après l'intervalle d'une seconde, se présenter au trou correspondant de la seconde roue, et sera visible à l'observateur placé derrière ; mais si, au moment où le rayon pénètre par la première, les deux roues viennent à tourner sur leur axe commun, de manière à ce que chaque intervalle plein remplace le trou adjacent dans l'espace d'une seconde, le rayon lumineux, au lieu de rencontrer le trou de la seconde roue, sera intercepté par l'intervalle plein qui l'aura remplacé ; et tant que l'on conservera à cet appareil supposé la même vitesse, le rayon de lumière sera bien, il est vrai, découvert et caché alternativement par la première roue, mais il sera continuellement occulté par la seconde, parce qu'il n'y arrivera toujours qu'à l'instant où elle lui présentera ses intervalles pleins et opaques.

» En diminuant de moitié la distance qui sépare les deux roues, il est clair qu'il faudrait donner une vitesse double à tout l'appareil pour obtenir le même résultat.

» Quelle grandeur, quel nombre de trous, quelle vitesse, faudrait-il donner aux deux roues, en les supposant séparées par un intervalle de 10 mètres ? Ce n'est plus qu'une affaire de chiffres, jusqu'à l'exécution de l'expérience, qui se trouverait encore hors des limites du possible. Mais ici se présente un moyen doublement avantageux, en ce qu'il permet d'allonger considérablement le chemin parcouru par le rayon lumineux, et qu'il supprime en même temps la seconde roue et l'axe, source d'incertitude :

» Un miroir réflecteur, placé aussi loin que possible de la première

Digitized by Google

et unique roue, reçoit le rayon lumineux et le renvoie vis-à-vis le trou diamétralement opposé à celui d'où il est sorti, de manière à ce que, tout étant en repos, un observateur, placé derrière la roue, puisse voir distinctement l'image du rayon réfléchi. Si cet appareil plus simple vient à tourner sur lui-même, tout se passera alors comme dans les suppositions précédentes.

» En plaçant le miroir à une distance de 500 mètres, une roue de 7 mètres 60 de rayon, portant mille trous sur son contour et faisant 360 tours par seconde, serait plus que suffisante pour surprendre le rayon lumineux dans sa route, et l'occulter complétement. Le succès de l'expérience n'exigerait même pas qu'on donnât à une aussi grande roue une aussi grande vitesse, car il suffirait d'occulter le tiers ou le quart du rayon réfléchi pour en déduire des conséquences. Dans tous les cas, les faits se présenteraient dans un ordre très curieux : on verrait le rayon lumineux décroître progressivement, jusqu'à disparition complète, et si l'on continue d'augmenter la vitesse, il commencerait à poindre dans l'espace suivant, et s'y découvrirait même tout entier à l'aide d'une vitesse convenable. A mesure que celle-ci diminuerait ensuite, il reviendrait par toutes les phases précédentes, ce qui formerait une démonstration complète : car, étant donnés l'éloignement du miroir, la vitesse de la roue et le nombre de trous, il serait facile d'en déduire la vitesse du rayon de lumière.

» Il serait trop long d'indiquer une foule de précautions qui, sans rien changer au principe essentiel, assureraient néanmoins le succès de l'expérience. Ainsi, une plaque immobile sera placée en avant et en arrière de la roue à l'endroit où le rayon sort, et là où il rentre, et sera percée de manière à ce que, dans un instant donné, trois trous de même dimension, dont deux immobiles, se trouvent sur la même ligne. Il faudra réunir toutes les ressources de l'optique pour qu'une vive lumière concentrée en un faisceau de rayons parallèles puisse revenir près de son foyer d'aussi loin qu'il sera possible. En la recevant sur un écran, il serait bien facile, il est vrai, de mesurer ses décroissances progressives ; mais une lunette et l'œil d'un observateur pourront la recevoir de plus loin encore.

» On mesurerait ainsi la vitesse absolue de la lumière, ce qui contrôlerait les observations astronomiques ; et pour connaître la vitesse relative de deux rayons traversant des milieux différents, il suffirait

Digitized by Google

de placer une substance transparente dans l'aller ou le retour du rayon.

» En admettant les rayons de toutes vitesses, et ne sortant pas des limites de ceux qui peuvent affecter la rétine, les plus lents seraient éliminés les premiers ; après des éliminations successives, les plus rapides disparaîtraient les derniers ; et dans ces différents cas, la lumière présenterait sans doute des modifications très-curieuses à étudier. »

Remarquons en passant que cette élimination successive des rayons est un phénomène très-probablement impossible : nous dirons bientôt qu'il n'y aurait en réalité qu'un déplacement des raies du spectre. Cette petite discussion trouvera sa place à l'occasion de la dissertation suivante de M. Doppler ; dissertation problématique sans doute, mais pleine d'intérêt, et qui soulève une question originale et neuve. Nous l'insérons ici parce qu'elle a pour point de départ la vitesse de la lumière.

Sur la lumière colorée des étoiles doubles et de quelques autres astres du ciel, par M. C. DOPPLER.

I. — On admet, dans la théorie des ondulations, que la nuance ou la sensation de la couleur a pour cause la succession à intervalles égaux des pulsations ou des ondulations de l'éther, tandis que l'intensité de cette même couleur dépend de l'amplitude des excursions de la molécule éthérée, ou de l'impression que les vibrations lumineuses excitent sur la rétine. Par conséquent, tout ce qui modifie l'intervalle qui sépare deux ondulations de l'éther doit amener un changement de couleur, comme tout ce qui détermine les molécules à vibrer avec plus ou moins d'énergie, ou tout ce qui augmente ou diminue les amplitudes des oscillations augmente par là même ou diminue l'intensité de l'impression.

Ce que nous venons de dire des vibrations lumineuses s'étend naturellement et nécessairement aux vibrations sonores ; et l'on ne s'est jamais trompé quand on a assimilé, sous ce rapport, les phénomènes de la lumière et du son.

Il est d'ailleurs très-étonnant que dans l'étude de la lumière et du son, ou plus généralement dans l'étude des mouvements ondulatoires, on n'ait pas tenu compte jusqu'ici d'une circonstance très-essentielle

Digitized by Google

et très-importante. On s'est comme obstiné à ne regarder les ondulations lumineuses ou sonores, en temps que cause de la sensation de la lumière et du son, que comme des phénomènes objectifs : on étudiait après quel intervalle de temps et avec quelle intensité se produisaient en elles-mêmes ces ondulations, sans penser à se demander après quel intervalle et avec quelle intensité subjective ces mêmes ondulations étaient perçues par l'œil ou par l'oreille de l'observateur. C'est cependant de cette impression subjective, et non de la nature objective des ondulations, que dépendent la couleur et son intensité, le ton et la force du son. Et dès qu'il se produit quelque différence numérique entre les qualités objectives et la perception subjective, cette différence modifie inévitablement l'impression reçue et l'estimation des phénomènes.

Ainsi, par exemple, tant que l'observateur et l'origine des ondulations conserveront leurs positions relatives premières, on ne peut pas douter que, rien d'ailleurs n'étant changé, les estimations subjectives s'accorderont numériquement avec les conditions objectives. Si, au contraire, l'observateur et l'origine des ondes changent de place individuellement, ou ensemble, s'ils s'éloignent ou se rapprochent avec une vitesse qui soit de même ordre que la vitesse de propagation des ondes, qu'arrivera-t-il ? L'accord qui existait primitivement continuera-t-il à subsister ? Y aura-t-il encore une coïncidence numérique parfaite ? Ne semble-t-il pas évident que l'intervalle de temps qui sépare deux ondes se raccourcira, si l'observateur s'approche de l'origine du mouvement ondulatoire; qu'il s'allongera, s'il s'en éloigne ? Dans le premier cas, le ton et l'intensité de l'impulsion ondulatoire doivent augmenter ; ils doivent diminuer dans le second. Le mouvement de la source des ondes doit produire des modifications semblables. L'expérience de tous les jours ne montre-t-elle pas qu'un navire ayant un assez grand tirant d'eau est battu par un plus grand nombre de vagues et beaucoup plus ébranlé, s'il gouverne contre les flots, que s'il se laissait entraîner par eux, ou que s'il était en repos ? Pourquoi ne retrouverait-on pas dans les ondes sonores et lumineuses ce qui se produit dans les ondes fluides ?

Quelques formules simples éclairciront cette question.

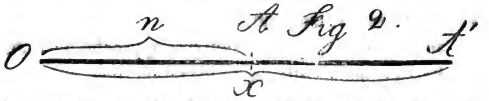
II. — Lorsque l'observateur et l'origine des ondes s'approchent ou s'éloignent, les droites suivant lesquelles ils se déplacent peuvent

Digitized by Google

coïncider ou former entre elles un angle : ce qui, en outre, peu éprouver des variations, c'est l'intervalle entre deux ondes consécutives, l'intensité du mouvement vibratoire et la direction suivant laquelle l'observateur croit la percevoir. Nous négligerons cette fois le fait de l'obliquité des deux directions, assez éclairci par l'explication si ingénieuse de l'aberration, donnée par Bradley. Nous ne nous occuperons que de ce qui arrive quand l'observateur s'éloigne en ligne droite de l'origine des ondes, supposée en repos, ou que l'origine des ondes s'écarte aussi en ligne droite de l'observateur immobile.

Premier cas. Appelons v la vitesse de propagation des ondes ;

soient A et O le commencement et la fin d'une onde, Q l'origine éloignée des ondes, n le nombre de secondes nécessaires pour que l'onde se propage de A en O, v' la vitesse de l'observateur, et x le temps employé par l'onde pour atteindre l'observateur qui s'approche

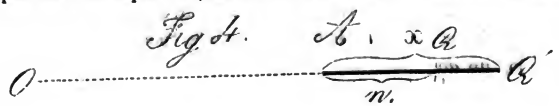


ou s'éloigne de Q : pour les deux cas de rapprochement ou d'éloignement de l'observateur, on aura :

$$vx \pm v'x = vn, \quad x = \frac{vn}{v \pm v'}, \quad v' = \pm v\left(1 - \frac{n}{x}\right) \quad (1).$$

Second cas. Si, au contraire, l'observateur est immobile ; et que la source se meuve avec une vitesse v' ; en s'approchant ou s'éloi-

gnant de l'observateur, pendant que la première onde va de Q en A, et parcourt un espace v x, la source est venue elle-même de Q en Q',



Digitized by Google

en parcourant un espace $v'x$, et la seconde onde n'a plus besoin, pour atteindre l'observateur, que du temps nécessaire au parcours de l'espace Q'A. On a donc, pour les deux cas :

$$vn \mp v'n = v'x \quad x = n\left(\frac{v \mp v'}{v}\right), \; v' = \pm v\left(\frac{x}{n} - 1\right) (2).$$

La différence entre les formules (1) et (2) prouve qu'en supposant les circonstances les mêmes, il n'est pas indifférent que ce soit l'observateur qui se meuve, la source restant immobile, ou la source qui se meuve, l'observateur restant en repos.

III. — Si l'observateur s'éloigne de la source sonore ou lumineuse avec une vitesse précisément égale à la vitesse de propagation v, c'est-à-dire si $v' = v$, la formule montre que x devra être infini, c'est-à-dire que les ondes successives n'atteindront jamais l'oreille de l'observateur. La production du son, quoique réelle en elle-même et dans sa propagation, est comme non avenue quant à la perception.

Si, au contraire, la source lumineuse s'éloigne avec cette même vitesse v, l'hypothèse $v' = n$, introduite dans la formule (2), entraîne $x = 2n$: ce qui signifie que l'observateur percevrait l'octave inférieure ou grave du son primitif.

Si l'on admet, enfin, que la source s'approche de l'observateur avec une vitesse égale à celle de propagation des ondes, la formule (2), dont le second membre doit être pris avec le signe —, ne pourra être satisfaite qu'autant que x sera égal à o, ce qui indique que les ondes isolées ou successives rencontreront toutes l'observateur en même temps, ou, ce qui revient au même, dans un temps infiniment petit; or cette circonstance ne peut correspondre qu'à un ton infiniment élevé, qui n'est pas physiquement perceptible.

Pour donner un exemple de calcul numérique, admettons que la vitesse du son à 10° Réaumur soit 1024 pieds par seconde, et demandons-nous quelle doit être la vitesse v' de l'observateur s'approchant de la source sonore, pour qu'il perçoive un *do* au lieu d'un *ré* ; dans ce cas on a $n = 1/84$, $x = 1/72$, $v = 1024$, et l'on tire de la formule (1) $v' = 128$: c'est la vitesse cherchée de l'observateur.

Réciproquement, la même formule montre que l'observateur devrait s'éloigner de 114 pieds par seconde, pour recevoir du *ré* la sensation du *do*.

Digitized by Google

On réussira beaucoup mieux à mettre en évidence les variations de ton, si l'on considère des sons plus rapprochés l'un de l'autre. Ainsi, par exemple, pour recevoir du son *si* la sensation du *do* qui le suit dans la gamme, il suffira que l'observateur s'approche avec une vitesse de 68 pieds par seconde. Dans ce cas, en effet, $n = 1/210$, $x = 1/128$, $v = 1024$, d'où l'on conclut : $v' = 68$.

Une oreille exercée discerne des intervalles d'un quart de ton ; or, d'après la formule (1), il suffirait d'une vitesse de 17 pieds par seconde pour percevoir le ton *si* avec une élévation ou un abaissement d'un quart de ton. En supposant que la source sonore et l'observateur s'avancent à la fois l'un vers l'autre, une vitesse de huit pieds par seconde suffirait à la perception d'une variation sensible dans le ton du son.

IV. — On admet maintenant que la vitesse v de la lumière est de 42,000 milles autrichiens par seconde, et l'on demande avec quelle vitesse un objet lumineux blanc ou violet devra s'éloigner de l'observateur pour devenir complétement invisible. On a, dans ce cas, $1/n = 727$ billions ; $1/x = 458$, $v = 42,000$; et la formule (2) donne $v = 19,000$ milles par seconde. Avec une semblable vitesse de l'objet lumineux, en supposant qu'il s'éloigne de nous, le violet extrême, comme aussi tous les autres rayons colorés, ainsi que le blanc, en le supposant même intense, s'évanouiraient complétement dans l'observation.

Les vitesses nécessaires à l'extinction des autres couleurs sont sensiblement plus petites. Ainsi, la formule (2) montre qu'une vitesse de 5007 milles pour la lumière jaune, de 1700 milles pour la lumière rouge, amènerait une extinction complète. Puisqu'avec les vitesses que nous venons d'assigner, l'une ou l'autre des couleurs principales du spectre, le violet, quand l'objet lumineux s'éloigne, le rouge, quand il s'approche, aura disparu, la couleur restante devra toujours finir par devenir homogène, et cette circonstance est assez importante pour qu'on doive en tenir compte.

Le calcul conduit à des résultats tout différents, quand on admet que la lumière colorée, émise par un corps lumineux très lointain, est une lumière homogène très délayée dans du blanc, ce que nous supposerons dans ce qui va suivre. Herschel affirme que toute lumière colorée qui brille d'un éclat très-vif est mêlée à beaucoup

Digitized by Google

de lumière blanche : sans cela elle n'aurait pas de feu ; il ajoute que l'œil de l'homme peut discerner la différence de couleur produite par la soustraction de la centième partie des rayons rouges, jaunes ou bleus, qui, mêlés aux autres rayons du spectre, forment du blanc.

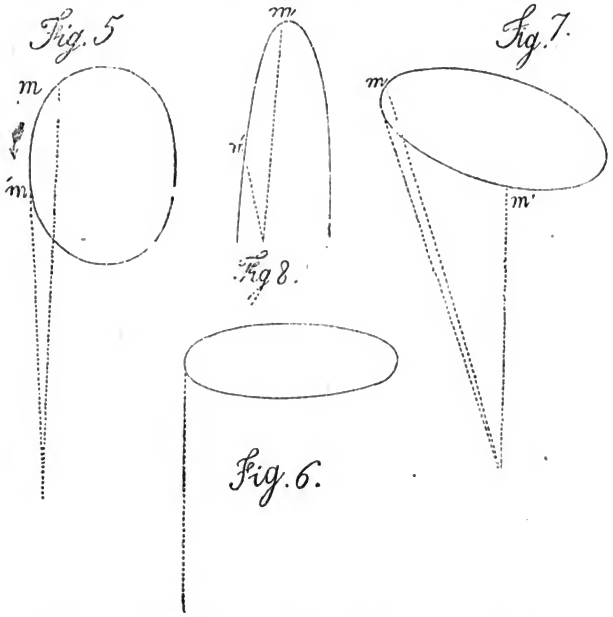
Il est encore une autre circonstance à signaler. Puisque l'intensité ou la quantité des divers rayons lumineux colorés n'est pas dans un rapport constant, et le même pour tous, avec leurs nombres de vibrations ; puisque les rayons bleus contenus dans la lumière blanche sont peut-être en nombre trois fois plus grand que les rayons jaunes, en nombre dix fois plus grand que les rayons rouges, et que, de plus, les rayons jaunes se transforment d'un côté en bleu par un rapprochement, de l'autre, en rouge, par un éloignement, il est évident qu'une diminution seulement d'un centième dans les rayons rouges extrêmes ou dans les rayons bleus fera sortir de la lumière observée un nombre trois fois plus grand au moins dans un cas, dix fois plus grand dans l'autre, de rayons efficaces, et amènera par conséquent une variation de couleur très sensible.

Il résulte des considérations précédentes que, dans des circonstances d'ailleurs les mêmes, les couleurs rouge et orangée deviendront plus intenses et se rapprocheront davantage de la couleur homogène de même nom. Il en est de même du bleu et du vert; et, pour ramener à la couleur blanche les couleurs verte, orangée et violette, il ne sera pas nécessaire de soustraire tous les rayons bleus, rouges et jaunes qu'elles renferment, mais seulement une partie de ces rayons.

Cela posé, si l'on fait $x = 1/458$ et $v = 1/458,37$, ce qui ferait passer les rayons rouges du nombre de vibration 458,37 au nombre de vibration 458 billions, la centième partie des rayons rouges se perdrait par là même; on trouverait en même temps $v' = 33$ milles par seconde, et il en résulterait que toute étoile brillant d'une lumière blanche qui s'approche ou s'éloigne de l'observateur avec une vitesse de 33 milles par seconde paraît, dans le premier cas, sensiblement colorée en vert, dans le second cas, sensiblement colorée en orangé. Ce nombre 33 milles peut être regardé comme une limite inférieure. En admettant qu'un dixième entier des rayons rouges ou bleus se soit perdu, ce qui, en vertu de ce qui précède, amènera une forte coloration, et correspond en même temps aux valeurs $x = 1/458$, $n = 1/460$, on trouvera $v' = 187$ milles par seconde.

Digitized by Google

disparaissent par suite de la vitesse qui les entraîne loin de nous.



6° Nous trouvons dans les figures 5 et 6 jusqu'à la raison de cette circonstance particulière qui fait que la durée de leur visibilité est très-petite par rapport au temps de leur période. Car, pendant à peu près les trois quarts ou plus de sa révolution, suivant la position et la forme de l'ellipse qu'il décrit, l'astre doit demeurer invisible pour n'apparaître que lorsqu'en s'approchant il arrive au périhélie. Cette conclusion ressort bien mieux quand on prend pour orbite une ellipse de grande excentricité (fig. 6), et dans une position faisant face à l'observateur.

7° Le phénomène ci-dessus rappelé, que la plus grande partie des étoiles changeantes emploient un temps beaucoup plus court à perdre leur lumière qu'à la retrouver, s'explique aussi très-bien au moyen de la figure 7. Jusque très-près du périhélie, l'astre, malgré sa très-grande vitesse, se trouve dans une position défavorable et se

Digitized by Google

rapproche très-peu de l'observateur placé en O, jusqu'à ce que, parvenu en M, il prenne la direction la plus favorable au rapprochement, en même temps qu'il acquiert son maximum de vitesse. Cette particularité s'explique bien mieux, quand on place l'astre dans la position indiquée par la figure 8 ; et l'on comprend facilement alors comment, dans l'intervalle de quelques heures, il peut devenir tout à coup visible pour quelque temps, puis s'éteindre peu à peu, et s'évanouir subitement après quelques années.

8° On explique encore pourquoi les étoiles nouvellement apparues ou disparues se colorent d'abord tour à tour de toutes les nuances de l'arc-en-ciel, et s'éteignent enfin au sein d'une lumière cuivrée.

Très-vraisemblablement un grand nombre parmi les étoiles que nous regardons comme immobiles et invariables sont sujettes à de pareils changements dans l'intensité et la couleur de leur lumière, comme on n'en peut pas douter pour Sirius.

9° Il faut, enfin, très-probablement chercher dans le mouvement de notre terre la raison des anomalies observées dans les variations périodiques des étoiles changeantes. Ainsi, par exemple, l'étoile *Mira* du cou de la baleine a tantôt une période de 328 jours 1/2, tantôt une période de 335 jours 1/2, ce qui fait une différence de 7 jours. Or, comme le temps de révolution de la terre est de 365 jours 1/4, elle se trouve, chaque année, au moment où l'étoile atteint son plus grand éclat, dans une position un peu différente, et chaque année, par conséquent, la direction de son mouvement est quelque peu différente par rapport à l'étoile. Et, comme le mouvement de la terre doit nécessairement exercer une certaine influence à l'époque où la planète entre dans sa phase de plus grand éclat, cette phase arrivera tantôt plus tôt, tantôt plus tard. Une différence de vitesse de 9 milles 4 dixièmes suffit à avancer ou à retarder le moment du maximum de l'éclat ou de l'extinction. Si ces considérations sont fondées en raison, la période des anomalies de l'étoile *Mira* doit être d'à peu près 12 ans.

S'il arrivait que l'observation vérifiât cette conjecture, ce serait pour notre théorie une confirmation frappante : aucun des ouvrages tombés sous notre main n'assigne aux anomalies de cette étoile *Mira* une période déterminée.

10° Avant qu'Olauf Rœmer nous apprît à mesurer la vitesse de la lumière, et même plusieurs années après cette grande découverte, on

Digitized by Google

croyait généralement qu'il n'y avait dans les cieux et sur la terre aucun mouvement dont la vitesse pût même entrer en comparaison avec la vitesse de la lumière, et qui pût par conséquent, sous aucun rapport, exercer sur la vitesse de la lumière une influence quelconque.

L'explication ingénieuse du phénomène de l'aberration nous fit entrer pour la première fois dans cette voie nouvelle, et dut à la force irrésistible de l'évidence qu'elle portait avec elle d'avoir été admise presque aussitôt universellement. Puisqu'une vitesse de 4 milles 7 dixièmes par seconde suffit pour infléchir de vingt secondes la direction du rayon lumineux, pourquoi donc une vitesse démontrée incomparablement plus grande ne produirait-elle pas un changement dans la couleur et l'intensité de la lumière des astres? Il n'est rien qui puisse empêcher l'homme qui cherche la vérité de se poser à lui-même, de poser aux autres cette belle question, et d'en étudier la réponse.

Les observations déjà faites sont-elles suffisantes pour qu'on puisse regarder comme définitive la solution que nous venons de développer, et doit-on regarder notre théorie comme marquée déjà au sceau de la certitude? Nous laissons à prononcer aux savans suffisamment versés dans ce genre de recherches. En attendant, il nous paraît certain que, si l'on admet l'exactitude de nos raisonnements, on conviendra facilement que nous avons jeté les bases d'une grande théorie qui, comprenant à la fois les variations de direction d'intensité et de couleur, renferme, comme cas particulier, la célèbre loi de l'aberration reconnue par Bradley, loi qui se borne à donner la raison de l'inflexion des rayons lumineux.

Nous croyons encore que notre théorie, dans un prochain avenir, fournira aux astronomes un moyen excellent de déterminer le mouvement et l'éloignement d'astres qui, à cause de leur éloignement incommensurable et de la petitesse de leur parallaxe, n'ont pas même laissé espérer jusqu'ici qu'ils pussent se prêter à de semblables mesures et à de semblables déterminations.

Nous allons analyser le plus rapidement possible les travaux qui ont eu pour point de départ ce beau Mémoire de M. Doppler.

Digitized by Google

QUELQUES OBSERVATIONS SUR LA NOUVELLE THÉORIE DE M. LE PROFESSEUR CH. DOPPLER, RELATIVE A LA LUMIÈRE COLORÉE DES ÉTOILES DOUBLES, ET DE QUELQUES AUTRES ASTRES, par le Dr. B. BOLZANO.

« La question générale que nous allons soumettre à l'examen, c'est la modification que subit l'impression exercée par les ondes, sur l'organe qui les perçoit, quand cet organe, ou le corps qui émet les ondes, entrent en mouvement.

» M. Doppler a seulement recherché : Quelles sont les modifications produites dans le temps pendant lequel une onde succède à la précédente, par le mouvement, soit du corps qui émet les ondes, soit de l'organe qui les perçoit. En faisant immédiatement des applications à l'acoustique et à l'optique, M. Doppler découvre deux vérités très-remarquables, dont personne avant lui, à ce que nous croyons, n'avait soupçonné l'existence. Au point de vue de l'acoustique, il dit : Qu'un son change, s'élève ou s'abaisse, devient plus aigu ou plus grave, quand l'objet qui le produit, et l'organe qui le perçoit, savoir, l'oreille, s'éloignent ou s'approchent l'un de l'autre avec une certaine vitesse. Au point de vue de l'optique, la couleur d'un objet doit être changée, quand l'objet et l'œil s'éloignent ou s'approchent l'un de l'autre avec une vitesse suffisamment grande. C'est surtout ce dernier principe que l'auteur développe avec plus de détails, et il en tire les conséquences les plus intéressantes, par rapport à la lumière colorée et variable des étoiles doubles et d'autres astres. Mais ses observations sont tellement serrées et mêlées de tant d'idées nouvelles et fécondes, que l'on y trouve dans quelques pages plus de matière à réfléchir et à expérimenter que dans beaucoup de gros volumes.

» Cependant, qu'il me soit permis de faire quelques objections sur divers résultats renfermés dans son Mémoire.

» I. L'auteur paraît croire, § 1er, que sa théorie sera renversée, si l'hypothèse des vibrations transversales vient à se confirmer. Il n'en est rien heureusement, et j'affirme que tout ce qu'il dit des changements dans les couleurs et l'intensité de la lumière resterait avec peu de modifications, quand même l'hypothèse mentionnée passerait

Digitized by Google

temps, leur premier éclat. Elles se ressemblent encore dans cette particularité, que le temps de leur disparition est trois ou quatre fois plus long que le temps de leur plus grand éclat, et que l'augmentation de clarté est beaucoup plus rapide et demande beaucoup moins de temps que la diminution et la disparition complète.

La nature et le mode de ces variations d'éclat sont tout-à-fait inconciliables avec l'hypothèse qui attribuerait la disparition de l'astre tournant sur son axe de rotation à une succession de portions alternativement obscures et brillantes, ou à l'interposition d'une planète obscure.

Au premier coup-d'œil, il semble qu'il n'existe aucune liaison étroite entre les deux phénomènes si différens de la coloration des étoiles doubles, et des étoiles changeantes : mais les observations nous ont révélé une troisième classe d'astres variables qui se place d'elle-même entre les deux autres, et devient comme le lien cherché d'une union continue. Il s'agit des étoiles disparues et des étoiles apparues ou nouvelles.

En 1572, on vit briller dans la constellation de Cassiopée un nouvel astre, auquel on crut pouvoir assigner 100 ou 150 ans, comme période de ses variations d'éclat. Observé à son maximum d'éclat et de diamètre visible, il surpassait Sirius et même Vénus par la vivacité de la lumière blanche qu'il émettait. Mais bientôt il perdit de ses dimensions, sa lumière s'affaiblit peu à peu, et passa du blanc au jaune, du jaune au rouge, en s'assombrissant sans cesse, jusqu'à ce qu'il s'éteignît tout-à-fait. L'étoile découverte par Képler en 1804 dans le pied de Persée fut plus singulière encore. Après que sa lumière eut passé tour à tour, en descendant, par toutes les couleurs du spectre, elle s'éteignit au bout d'un an, et on ne l'a plus revue depuis. Les écrivains des temps reculés racontent de semblables apparitions, et l'on ne peut guère douter que Sirius, aujourd'hui remarquable par sa blancheur éblouissante, fût autrefois rouge.

Ces astres ont de commun avec les étoiles doubles leurs jeux de couleurs, et très vraisemblablement leur mouvement rapide, et une périodicité de plusieurs siècles ; avec les étoiles dites variables, leur extinction subite, leur complète invisibilité, l'inégalité des périodes d'extinction et d'éclat, et, enfin, cette circonstance que la diminution d'éclat est beaucoup plus rapide que l'augmentation.

De plus, tous ces phénomènes se produisent dans des conditions

Digitized by Google

telles que, par la simple supposition d'un grand accroissement ou d'une grande diminution dans leur vitesse, nous arrivons à les prévoir d'avance dans tous leurs détails.

Mais faisons encore un pas en avant, et voyons ce que l'observation immédiate, le calcul et l'analogie nous apprennent au sujet des mouvements des astres.

VII. La vitesse des planètes du système solaire, même au périhélie, est loin d'être extraordinaire. La terre se meut avec une vitesse de 4,7 milles par seconde ; Vénus fait 6,7 milles ; Mercure 8,3. Il n'y a rien d'étonnant par conséquent qu'on n'ait pas encore observé dans les planètes des variations de couleur ou des extinctions périodiques.

Si la vitesse de notre terre était au moins six fois plus grande qu'elle l'est, toutes les étoiles fixes du ciel, à l'ouest de l'écliptique, nous apparaîtraient, sans exception, bleues ou vertes : à l'est, elles seraient toutes orangées ou rouges. S'il en était ainsi réellement, on ne pourrait pas hésiter à chercher, dans le mouvement de la terre, la cause d'un phénomène si universel et si étendu, comme on l'a fait pour l'aberration.

Les satellites se meuvent tantôt plus lentement, tantôt plus rapidement que leurs planètes, et l'on pourrait se demander si ce mouvement n'expliquerait pas quelques-unes au moins des particularités qu'ils présentent.

Mais combien est déjà plus saillante la vitesse du mouvement des comètes ! La comète de Halley, à son périhélie, parcourait 17 milles par seconde; une autre comète, observée en 1680 dans le voisinage du soleil, avait une vitesse de 74 milles par seconde, c'est-à-dire une vitesse six fois plus grande que la terre. Peut-on douter que, parmi les comètes passées ou à venir, quelques-unes se soient mues avec une vitesse de plusieurs centaines de milles par seconde ? Dès lors, il est vraisemblable qu'elles se sont un peu colorées, et ces colorations ont dû être observées quelquefois.

Alors même que notre terre ne serait pas apte, en raison de sa trop petite vitesse, à produire par elle seule chez les corps célestes des variations de coloration et d'intensité, cette vitesse serait suffisante pour modifier au moins ces apparences dans une certaine proportion. Les anomalies observées dans les disparitions périodiques des

Digitized by Google

étoiles changeantes trouveraient peut-être leur explication dans cette influence.

Il est très-probable que certaines étoiles fixes l'emportent sur notre soleil par leur grandeur et leur masse. Il est très-vraisemblable même que certains astres ont un diamètre cent fois plus grand, et une masse un million de fois plus grande. Comme la vitesse des satellites, toutes circonstances égales d'ailleurs, est en raison directe de la masse de la planète, il n'y aurait rien d'extraordinaire à ce que l'observation nous fît découvrir dans les cieux des astres dont la vitesse surpasserait celle de la lumière. Dans le fait, une semblable vitesse s'est rencontrée probablement dans les étoiles doubles et sans doute aussi dans les étoiles variables, nouvelles ou disparues. Nous entendons avec plaisir un astronome distingué, M. de Littrow, dire, en parlant de l'étoile double γ de la Vierge : La vitesse du satellite à son périhélie est remarquable ; il parcourt en un jour 3,490 millions de milles, ou près de 40,000 milles dans une seconde, c'est-à-dire qu'il se meut presque aussi vite que la lumière elle-même. Alors même qu'on n'accepterait pas ces assertions comme suffisamment démontrées, elles autorisent du moins à ne pas regarder comme invraisemblables les vitesses de 33 à 19,000 milles par seconde que nous avons attribuées à quelques étoiles fixes.

VIII. Il est très-surprenant que nous ayons été amenés à affirmer des changements de couleur et d'intensité si remarquables pour les corps célestes, auxquels des observations immédiates ou l'analogie assignent une vitesse extrêmement grande, changements que notre théorie proclame au contraire impossibles pour les astres qui sont relativement en repos ou qui du moins se meuvent avec une vitesse beaucoup plus petite. On se trouve ainsi comme invinciblement entraîné vers l'opinion qu'en eux-mêmes, et comme par leur nature, les corps célestes émettent une lumière blanche, ou blanc-jaunâtre, et que, s'il en est autrement, cette anomalie est essentiellement liée avec la très-grande vitesse de leur mouvement propre.

Le but du présent mémoire était de mettre en évidence, non pas la possibilité accidentelle de cette liaison, mais sa nécessité essentielle ; et ce n'est pas une légère satisfaction pour l'auteur que de pouvoir affirmer le plein accord de sa théorie avec les observations, autant du moins qu'elles sont parvenues jusqu'à lui.

Digitized by Google

Pour jeter un nouveau jour sur cette grave question, il pose simplement les questions suivantes :

1° Pourquoi de deux étoiles doubles, la plus grosse, celle qu'on est amené à considérer comme le centre d'attraction ou l'étoile principale, apparaît-elle presque sans exception toujours blanche, tandis que sa compagne est le plus souvent colorée ?

2° Pourquoi, dans le cas où les deux étoiles sont également grosses, toutes deux se montrent-elles colorées ?

3° Pourquoi, dans ce dernier cas, l'un des astres brille-t-il toujours d'une lumière appartenant à la partie supérieure du spectre, et se montre vert, bleu ou violet, tandis que l'autre brille d'une couleur empruntée à la partie inférieure du spectre, et apparaît rouge, orangé ou jaune ? N'est-ce pas parce que, dans le cas de deux étoiles doubles également grosses, alors surtout qu'elles se meuvent autour du centre commun de gravité, l'une est dans la période d'approchement, pendant que l'autre s'éloigne de nous ?

4° On explique très-naturellement de cette manière pourquoi les étoiles doubles changent si rapidement d'aspect avec le temps. Ainsi, par exemple, le vieil Herschel trouve que, dans la jolie étoile double du nord, γ du Lion, l'un des astres était blanc et son compagnon rougeâtre, tandis que pour M. Struve, l'étoile principale apparaissait couleur d'or, et le compagnon rouge-vert. Le changement est plus frappant encore dans l'étoile γ du Dauphin ; les deux étoiles étaient blanches pour Herschel, M. Maedler les proclame jaune d'or et bleu-verdâtre. Nous pouvons avancer, en nous appuyant sur les principes posés par nous, qu'il viendra un temps où ces deux étoiles auront échangé leurs couleurs.

Une partie au moins des étoiles doubles parcourent donc pendant leur révolution périodique l'échelle entière du spectre solaire.

5° On explique encore ainsi la manière d'être remarquable des étoiles périodiquement variables, et nommément pourquoi la couleur de ces étoiles est précisément la couleur rouge : car, ou elles sont elles-mêmes des astres invisibles pour nous à cause de la faible intensité ou de la trop grande longueur d'onde de leur lumière, et ne commencent à devenir visibles que par suite du mouvement rapide qui les rapproche d'abord de nous en les montrant rouges ; ou peut-être, au contraire, qu'elles sont réellement rouges, et qu'elles

Digitized by Google

Ajoutons qu'il résulte encore de cette discussion que, par suite d'un éloignement de l'astre, les rayons contenus dans la lumière blanche se changent en d'autres rayons d'une plus grande durée de vibration, les rayons violets en bleu, les bleus en jaune, en passant par le vert, les jaunes en rouge, en passant par l'orangé ; les rouges enfin, en perdant de leur vitesse, échappent entièrement au spectre et deviennent insensibles. Dans le cas du rapprochement, au contraire, ce sont les rayons violets qui disparaissent; la lumière blanche paraît d'abord verte, puis bleue, puis violette.

Ce que nous avons dit jusqu'ici de l'influence du mouvement sur les apparences lumineuses peut se résumer dans les quelques propositions suivantes :

1. Si un objet lumineux par lui-même ou par une lumière empruntée s'éloigne ou s'approche avec une vitesse tant soit peu comparable à la vitesse de propagation de la lumière, en se mouvant suivant la ligne droite qui l'unit à l'œil de l'observateur, ce mouvement aura pour effet essentiel une variation dans l'intensité et la couleur de la lumière que l'objet émet; cette variation suit les lois suivantes :

1° Par le rapprochement l'intensité croît toujours ; la couleur, de son côté, va par une vitesse ascendante du blanc au vert, puis au bleu, et enfin au violet

2° Par l'éloignement, l'intensité diminue dans tous les cas, et la lumière blanche passe successivement au jaune, à l'orangé, et enfin au rouge.

Si déjà le corps lumineux a une certaine couleur, s'il est jaune, par exemple, le changement commence à cette couleur et monte ou descend suivant les lois exprimées 1° et 2° ;

3° Si la vitesse est suffisamment grande, la lumière blanche ou colorée peut, dans les deux cas, devenir complétement insensible, parce que les intervalles des ondulations successives deviennent trop petits dans le premier cas, trop grands dans le second, pour être perçus. L'intensité augmente ou diminue en même temps que la couleur change, et concourt à rendre plus prompte et plus sensible l'extinction finale ;

4° Pour l'extinction complète d'un astre à lumière blanche, il suffit, sans avoir égard à la diminution éventuelle d'intensité, d'une vitesse de 19,000 milles par seconde. Pour les astres qui émettent

Digitized by Google

une lumière homogène jaune ou rouge, des vitesses de 5,007 ou de 1,700 milles amèneraient une extinction complète ;

5° Des étoiles à lumière blanche prennent déjà, si la vitesse est de 33 milles par seconde, une coloration sensible ; si la vitesse était de 187 milles, la coloration toujours délayée dans beaucoup de rayons blancs serait manifeste et frappante ;

6° Si la vitesse d'un astre en mouvement vient à changer, la couleur et l'intensité de sa lumière varieront, de sorte qu'il peut arriver qu'une même étoile dans la série des siècles puisse se parer successivement de toutes les couleurs du spectre.

2. Si, au contraire, l'objet lumineux est en repos, et que l'observateur s'approche ou s'éloigne de lui en ligne droite, avec une vitesse suffisante, les mêmes changements de couleur et d'intensité se reproduiront dans des conditions numériques plus ou moins différentes de celles énoncées au n° **1**.

3. Si le rapprochement ou l'éloignement n'ont plus lieu en ligne droite, comme on l'a supposé n° **1** et **2**, ou suivant la direction qui les unissait au point de départ, mais dans une direction oblique, les changements d'intensité et de couleur seront accompagnés d'un changement incessant de direction, et l'astre semblera changer de place.

Si l'on admet l'exactitude des principes posés ci-dessus, on reconnaîtra sans peine qu'ils sont les bases d'une théorie nouvelle, dont la théorie de l'aberration par Bradley n'est qu'un cas particulier. Or, les considérations suivantes ne suffisent-elles pas à démontrer *à priori* cette exactitude ?

Admettons que la couleur naturelle des astres est le blanc ou le blanc-jaunâtre, et que parmi ces astres, en nombre incalculable, il en est qui se meuvent avec une vitesse de plus de 33 milles par seconde : il en résultera que le ciel étoilé nous semblera parsemé d'étoiles solitaires de toutes couleurs, que quelques-unes de ces étoiles devront s'éteindre ou disparaître, tandis que d'autres invisibles jusque-là se montreront tout à coup.

Réciproquement, si une observation exacte du ciel nous montre ces mêmes phénomènes d'étoiles de toute couleur, de disparition, d'apparition, comme cela a lieu réellement, il faudra indubitablement en conclure que, parmi les astres du firmament, il en est qui se

Digitized by Google

meuvent dans l'espace avec une vitesse de 33 à 19,000 milles par seconde.

Si enfin, en outre de l'observation certaine des phénomènes que nous venons de rappeler, des observations astronomiques plus exactes, ainsi que des théories mathématiques incontestables, arrivent à prouver directement, d'une part, qu'il est en effet des corps célestes doués de vitesses de 33 à 19,000 milles par seconde; de l'autre, que les mouvements plus ou moins rapides de ces astres sont en effet accompagnés des changements de couleur et d'intensité indiqués par la nouvelle théorie, cette théorie ne recevra-t-elle pas ainsi une confirmation éclatante, et ne pourra-t-elle pas être acceptée comme point de départ dans la recherche des directions inconnues suivant lesquelles les astres se meuvent?

V. Jusqu'ici tous les efforts des astronomes n'ont pas réussi à donner une explication tant soit peu plausible du phénomène merveilleux et incroyable de la coloration des étoiles doubles, et de quelques autres astres du firmament. Au premier abord, il semble que l'on ne devrait pas plus s'étonner de rencontrer dans les cieux des étoiles colorées, qu'on ne s'étonne de voir sur la terre des corps de toute couleur. Mais une étude plus attentive des circonstances qui accompagnent la coloration des astres fait bientôt changer d'opinion à cet égard. Car, en faisant abstraction de toute autre particularité, ne doit-on pas être frappé à un haut degré de ce fait que, parmi la multitude innombrable d'étoiles solitaires dans lesquelles on ne découvre aucune trace de mouvement, on ne rencontre, sans exception, que des étoiles blanches ou d'un jaune pâle, aucune qui soit bleue, verte ou violette ; aucune qui brille d'une belle lumière orangée ou rouge intense?

Il n'en est pas ainsi pour les étoiles doubles. Elles se partagent en deux classes. Tantôt une des étoiles du groupe, remarquable par un volume plus considérable et un plus grand éclat, se montre clairement comme étoile principale, centre de l'attraction et du mouvement imprimé aux autres ; tantôt les étoiles individuelles du groupe, à peu près de même grosseur, tournent vraisemblablement ensemble autour d'un astre central invisible, ou autour de leur centre commun de gravité.

L'astre principal des étoiles doubles ou multiples de la première

Digitized by Google

classe apparaît toujours blanche, ou blanc-jaunâtre, et se rapproche, sous ce rapport, des autres étoiles fixes solitaires du firmament. Ses compagnes, au contraire, se montrent tantôt vertes, bleues ou violettes ; tantôt orangé intense, tantôt colorées d'un beau rouge et même d'un rouge sombre.

Les étoiles doubles de la seconde classe se composent d'astres colorés de couleurs différentes ; et ce qui est plus remarquable, leurs couleurs ou sont complémentaires les unes des autres, ou appartiennent les unes à la partie supérieure, les autres à la partie inférieure du spectre.

On a essayé, il est vrai, avec assez peu de bonheur, d'expliquer la présence de ces couleurs complémentaires par un effet de contraste. Mais, outre que les couleurs complémentaires ne sont qu'une partie des faits observés, des expériences directes ont clairement démontré l'insuffisance de l'explication. Pendant qu'on regardait avec une lunette l'ensemble des deux étoiles complémentaires, on dérobait à la vue, à l'aide d'un fil tendu, l'une des deux étoiles ; la raison du contraste n'existait plus, et cependant les astres, vus isolément, restaient de couleurs complémentaires.

La mesure du merveilleux sera à son comble, si l'on compare les données anciennes d'Herschel avec les données nouvelles de Struve : on sera alors convaincu jusqu'à l'évidence que les couleurs d'un grand nombre de ces étoiles se sont notablement modifiées, et modifiées de telle sorte, que l'on ne puisse attribuer en aucune manière ces variations à la disposition des instrumens employés par les divers observateurs. Des étoiles qui autrefois étaient considérées comme jaunes sont devenues aujourd'hui de couleur orangée et rouge, et réciproquement.

Struve a trouvé teintes de la couleur de l'or, rouge-verdâtres ou bleu-verdâtres, des étoiles signalées par Herschel comme parfaitement blanches.

VI. Les étoiles périodiquement changeantes sont un autre phénomène des cieux non moins intéressant et aussi mal expliqué. Toutes, à l'exception d'Algol, de la tête de Méduse, sont d'abord rouges, puis de couleur cuivrée dans le maximum de leur éclat ; elles s'obscurcissent ensuite de plus en plus, deviennent à peu près invisibles, et disparaissent enfin pour reprendre, après une certaine période de

Digitized by Google

à l'état de vérité incontestable. Tous les physiciens, en effet, émissionistes ou ondulationistes, font dépendre la couleur et l'intensité de la lumière, soit directement, des vitesses inégales de propagation, soit de la longueur des ondes, qui sont elles-mêmes fonction de la vitesse de propagation, et de l'amplitude des oscillations; or, n'est-il pas évident, *à priori*, que, dans l'un ou l'autre système, toutes les causes qui influeront sur la vitesse de propagation produiront nécessairement des changements de couleur et d'intensité ?

» En admettant que l'intensité de la lumière soit produite par des vibrations transversales, si l'objet ou l'œil se meuvent dans la direction de la droite qui les joint, il serait plus difficile peut-être de concevoir des variations d'intensité; mais elles seront au moins facilement expliquées, si le mouvement se fait dans la direction de la perpendiculaire à la droite de propagation, c'est-à-dire dans la direction des vibrations transversales. Dans ce cas, quand l'œil ou l'objet se meuvent dans la direction des oscillations éthérées, soit en s'approchant, soit en s'éloignant l'un de l'autre, il faut, évidemment, que l'excursion à droite ou à gauche de la molécule d'éther impressionne l'œil plus fortement ou plus faiblement, selon que le mouvement s'opère dans un sens ou dans l'autre. Il resterait à se demander si le choc de la molécule éthérée, agissant avec prépondérance, dans un seul sens ou vers un seul côté, produira, sur la rétine, la même sensation qu'une percussion qui se manifeste dans le sens des deux côtés avec une force égale, ainsi que cela a lieu quand l'œil et l'objet sont en repos, ou ne se meuvent qu'avec une vitesse peu considérable, si on la compare à la vitesse avec laquelle s'opèrent les vibrations transversales. Quoi qu'il en soit, il reste incontestable que la couleur d'un objet doit probablement plus ou moins se modifier, quand l'œil ou l'objet s'approchent ou s'éloignent réciproquement avec une vitesse suffisante.

» II. Ce que nous allons dire parle moins en faveur de la nouvelle théorie, et pourrait même, au contraire, susciter quelques doutes. M. Doppler établit par le calcul, § 5, que déjà une vitesse de 33 milles par secondes, quand elle a lieu dans le sens du rapprochement ou de l'éloignement entre l'objet et l'œil, suffit à produire un changement de couleur sensible. Tout le monde, dès-lors, se demandera pourquoi on n'a observé dans le ciel que très-rarement, et pres-

Digitized by Google

que exclusivement, sur les étoiles doubles, ces changements de couleurs. La plupart des corps célestes se meuvent avec une vitesse qui non seulement égale la vitesse de 33 milles par seconde, mais qui l'excède de beaucoup, et dans des directions qui doivent suffire à la production des changemens de couleurs sensibles à notre œil. On ne peut guère admettre qu'un seul corps céleste, ou même qu'un seul des atomes qui planent dans l'univers soit en repos absolu. Donc, si tous les corps célestes sont en mouvement, et que nous observions que la vitesse relative avec laquelle un satellite tourne autour de la planète principale est beaucoup plus petite que celle avec laquelle la planète principale se meut autour du soleil, il faut en conclure que le soleil tourne avec une vitesse relative beaucoup plus grande que celle de la terre autour d'un point ou corps central. Or, comme les vitesses absolues dérivent du rapport des vitesses relatives, et consistent en une addition ordinairement partielle, mais quelquefois totale de ces vitesses relatives, il est très probable que déjà, dans notre système solaire, il existe des corps qui se meuvent avec une vitesse beaucoup plus grande que celle de 33 milles par seconde. De même, nous observons dans les étoiles doubles beaucoup de mouvements dont la vitesse excède de plus de mille fois la vitesse en question. Donc il faut croire qu'aussi, parmi les autres étoiles fixes, il existe des mouvements d'une très-grande vitesse, et l'observation directe l'a constaté.

» Toutes ces objections ne combattent qu'en apparence la nouvelle théorie. On a, jusqu'à ce jour, assez souvent et assez exactement observé la lumière des étoiles fixes, pour pouvoir dire si elles éprouvent ou non des modifications dans leur lumière apparente. La théorie de M. Doppler n'est, en ce sens, qu'un appel aux astronomes, qui se hâteront, sans doute, de reprendre des observations jusqu'ici trop négligées. Qu'on le fasse et que l'on n'oublie pas d'examiner dans toute leur généralité les nouveaux théorèmes d'optique et d'acoustique posés par M. Doppler : j'attends avec confiance que l'expérience et l'observation viennent les confirmer, et que l'on trouve, enfin, tant de preuves de leur vérité, qu'il soit possible de déduire des changemens que la couleur de la lumière des corps célestes éprouve avec le temps la direction de la vitesse des mouvements, ainsi que la distance réciproque de ces corps. »

Digitized by Google

M. Buijs Ballot, d'Utrecht, s'est hâté de répondre à l'appel de MM. Doppler et Bolzano. Voici un extrait de son Mémoire.

EXPÉRIENCES ACOUSTIQUES FAITES SUR LE CHEMIN DE FER DES PAYS-BAS, AVEC QUELQUES REMARQUES RELATIVES A LA THÉORIE DU PROFESSEUR DOPPLER; *par le docteur* BUIJS BALLOT.

M. le docteur Buijs Ballot a donc eu le mérite de remarquer, l'un des premiers, l'importance du Mémoire de M. Doppler, et de le prendre pour sujet d'une thèse posée en ces termes : « Je crois que la théorie de M. Doppler est vraie, mais elle me semble insuffisante à rendre compte de la couleur des étoiles doubles. » M. Buijs Ballot fit plus : il prit aussitôt la résolution de soumettre la théorie du savant Bohémien à l'épreuve de l'expérience, et voici comment il s'y prit. Il s'agissait de prouver que v étant la vitesse de la propagation du son, $\pm v'$ la vitesse de translation de la source sonore ou de l'observateur, un son correspondant à n vibrations par secondes produirait, dans le cas du déplacement de la source, la sensation du ton plus grave ou plus aigu $\frac{n\,v}{v \pm v'}$; dans le cas du déplacement de l'observateur, la sensation du ton plus grave ou plus aigu $\frac{n(v \pm v')}{v}$, et que par conséquent le son qui s'éloigne paraît plus grave, tandis que le son qui vient paraît plus aigu.

Sur le chemin de fer UM, qui unit Utrecht à Maarsen, on plaça, à des distances à peu près égales à mille mètres, trois groupes d'observateurs musiciens qui restaient immobiles le plus près possible de la route. Un musicien, placé sur la locomotive, sonnait de la trompette, d'abord en partant d'Utrecht, puis, entre A et B, entre B et C, entre C et Maarsen. M. Buijs Ballot a publié, dans deux tableaux, les estimations des tons perçus, faites dans deux séries d'expériences, le 3 et le 5 juin 1845, et il en conclut que les nombres obtenus vérifient généralement la théorie ; les différences entre le calcul et l'observation étaient tantôt en plus, tantôt en moins, et se contrebalançaient ; toujours le son parut plus grave ou plus aigu, conformément aux prévisions de la théorie. M. Buijs Ballot considère comme une anomalie le fait que le ton qui s'approche s'élève plus que le ton

Digitized by Google

qui s'éloigne ne s'abaisse : c'est-à-dire que l'un acquiert plus en acuité que l'autre n'acquiert en gravité. Or, loin d'être une anomalie, ce fait serait une conséquence et une confirmation éclatante de la théorie, ainsi que M. Doppler le proclamera bientôt lui-même.

Après avoir rendu compte de ses expériences, les premières en ce genre, M. Buijs Ballot se propose les cinq questions suivantes et les discute :

1° A-t-on le droit d'étendre à la lumière les résultats obtenus pour le son ?

2° Les étoiles ont-elles en quelque point de leur orbite une vitesse suffisante pour amener une coloration sensible ou un changement visible de couleur ?

3° Les étoiles doubles ont-elles de fait les couleurs ou subissent-elles de fait les changements de couleurs assignés par M. Doppler ?

4° N'aurait-on pas, sous la main, une explication plus facile de la coloration des étoiles ?

5° N'existe-t-il pas des faits qui rendent impossible l'application à la coloration des astres de la théorie de M. Doppler ?

M. Buijs Ballot ne se refuse pas à répondre affirmativement à la première question. Mais ses doutes se révèlent déjà à la seconde. Il ne croit ni à la vitesse excessive des astres, admise par M. Bolzano, qui va plus loin que M. Doppler, ni à la sensibilité excessive de l'œil, admise par M. Doppler. Il affirme qu'on ne peut pas étendre aux étoiles l'accroissement progressif de vitesse que l'on observe quand on passe des satellites aux planètes, des planètes inférieures aux planètes supérieures, etc ; que cet accroissement n'est nullement conforme aux suppositions mises en avant par MM. Argelander, Bravais, Mœdler, etc. Il cite l'opinion de M. Kaiser, d'après laquelle l'étoile la plus rapide du firmament parcourrait à peine dix mille mètres par secondes.

Il réfute l'opinion de M. Doppler, suivant laquelle l'addition d'un centième seulement de rouge serait perçue par l'œil, et s'appuie de l'autorité de sir John Herschel, lorsque celui-ci, après avoir fait remarquer qu'en mêlant les couleurs dans toutes les proportions possibles de 1 à 100, on obtenait un million de teintes ou nuances différentes, ajoute : « Ce qui est plus que suffisant pour exprimer toutes les nuances que l'œil peut distinguer. On dit que les Romains imitaient dans leur mosaïque plus de 300,000 teintes : en supposant même que la

Digitized by Google

nature nous offre un nombre de nuances dix fois plus grand, elles se trouveraient toutes dans notre échelle. » Il résulterait, en effet, de ce passage d'Herschel, que, pour amener un changement de couleur perceptible à l'œil, il faudrait au moins introduire trois centièmes de rouge, ce qui entraînerait une vitesse triple du minimum adopté par M. Doppler. Encore faudrait-il tenir compte du fait admis par les physiciens, que l'œil perçoit tout au plus une variation d'intensité égale au soixantième, et que la dispersion produite par l'atmosphère amène à chaque instant, comme dans le phénomène de la scintillation, des changemens de couleur accidentels qui compliqueront grandement l'appréciation des variations produites par la vitesse. M. Buijs Ballot persiste donc à regarder comme tout-à-fait insuffisante l'influence d'une vitesse de 33 milles par seconde.

Relativement à la troisième question, M. Buijs Ballot montre que la seule discussion des observations de M. Struve suscite autant d'objections contre la théorie de M. Doppler qu'elle apporte d'arguments en sa faveur. Sur 557 étoiles doubles, 376 sont de la même couleur blanche, 118 sont jaunes, 63 sont bleues. Comment rendre compte de ce fait par des changements de vitesse ? Pourquoi y aurait-il deux fois plus d'étoiles qui s'éloignent de nous qu'il n'y en a qui s'en approchent ? On connaît aussi 10 couples d'étoiles dont les unes s'éloignent, dont les autres s'approchent ; on connaît la cause qui produit très-vraisemblablement leur grande vitesse, et dans toutes ces couples, cependant, l'étoile principale est verte et la compagne bleue. Il est très-probable que toutes ces étoiles principales s'éloignent de nous tandis que les compagnes s'approchent, et cependant, sur 157 couples semblables, 53 étoiles principales sont blanches, 52 bleues-jaunâtres, 52 jaunes ou rouges ; toutes les compagnes sont bleues et bleuâtres, à l'exception de 13 qui sont de couleur pourpre. Il est donc trop vrai que les couleurs réelles des étoiles doubles sont très-peu en rapport avec la théorie de M. Doppler.

M. Buijs Ballot est plus explicite encore dans sa réponse à la quatrième question : selon lui, le fait du changement de couleur, tel qu'il est réellement constaté par les observations, serait beaucoup moins favorable encore à la théorie nouvelle. Les deux couples d'étoiles γ du Lion et γ du Dauphin sont un démenti donné à M. Doppler : les distances des deux étoiles de chaque groupe n'ont pas

Digitized by Google

changé depuis plus de cinquante ans, et cependant l'angle de position de l'une des étoiles γ du Lion a varié de 22°, tandis que l'angle de position de γ du Dauphin est resté le même : le changement de direction et de vitesse du mouvement n'a donc amené aucun changement de couleur.

Il n'est pas du tout démontré que les étoiles nouvelles ou disparues se soient montrées d'abord vertes ou bleues, pour s'éteindre au sein d'une lueur pourpre, après avoir passé par toutes les nuances du spectre : ce que M. Doppler avance à cet égard est affirmé gratuitement.

M. Buijs Ballot aime mieux admettre tout simplement que les différences de couleurs des étoiles proviennent de la nature même de la lumière de ces astres, et non de leurs mouvements. Ils nous paraissent subjectivement de diverses nuances, parce qu'objectivement ils sont diversement colorés. Les expériences de Fraunhofer mettent en évidence cette différence essentielle de lumière, en montrant que les raies des spectres obtenus avec la lumière des diverses étoiles sont réellement différentes par leurs positions, leur étendue, leur éclat, etc. Il serait intéressant d'étendre les expériences de Fraunhofer aux étoiles qui changent d'intensité sans changer de couleur. Pour M. Buijs Ballot, les hypothèses anciennement admises dans le but d'expliquer les variations d'éclat et les disparitions des étoiles sont tout aussi admissibles, tout aussi probables que l'hypothèse, vraisemblable au premier abord, mais peu fondée en réalité, mise en avant par M. Doppler.

Abordons enfin de front la difficulté. M. Buijs Ballot entreprend de démontrer que le changement de vitesse ne peut, en aucune manière, déterminer un changement de couleur. Voici comment il raisonne. Les couleurs des étoiles ne sont pas des couleurs simples, mais des mélanges que l'on peut comparer à des bruits. Les bruits résultent de la superposition d'un certain nombre ou d'un nombre indéfini d'ondes sonores de longueurs différentes. Le mouvement a pour effet essentiel d'allonger ou de raccourcir les ondes ; devenue trop longue, la plus grande longueur d'onde ne serait plus sensible ; il en serait de même de la plus petite longueur d'onde devenue trop courte : il manquerait donc, à l'ensemble primitif, ou le rayon de plus grande longueur d'onde, ou le rayon de plus petite longueur d'onde ; c'est-à-

Digitized by Google

dire, s'il s'agit de la lumière, le rouge ou le violet. Pour les autres rayons il y aurait eu une simple tranformation ; le rouge serait devenu orangé; l'orangé, jaune, etc. Cette discussion semble donner raison à M. Doppler. Mais, remarque M. Buijs Ballot, à gauche du rouge, et à droite du violet, il y a des séries continues et indéfinies de rayons invisibles, dont la longueur d'onde est plus grande que celle du rouge, plus petite que celle du violet : or, puisque les longueurs d'onde sont allongées ou raccourcies par l'effet des mouvements, les rayons invisibles d'abord deviendront visibles ; le rouge et le violet, évanouis, seront remplacés par un nouveau rouge et un nouveau violet, rien, dès lors, ne sera changé, et la lumière de l'astre sera restée la même.

L'objection est très-sérieuse, et ébranle jusque dans ses fondements la théorie de M. Doppler : nous verrons bientôt comment M. Fizeau a su l'esquiver. M. Buijs Ballot remarque avec raison qu'il n'en est pas ainsi pour le son ; là, il n'y a pas à droite et à gauche des séries d'ondes supplémentaires ; aussi, la différence de ton produite par le mouvement est très-appréciable, sans que l'on puisse conclure des expériences d'Utrecht à la vérité de la théorie de M. Doppler.

M. Buijs Ballot soulève, enfin, une dernière objection ; les diverses couleurs du spectre ont une intensité différente ; le jaune et le bleu, par exemple, sont plus lumineux que le rouge et le violet ; dès lors, le rouge qui sera devenu orangé, ou le vert qui sera devenu bleu, n'auront pas la même intensité que l'orangé et le bleu primitif; le nouveau spectre ou la nouvelle couleur devraient donc présenter des nuances tout-à-fait différentes que l'œil devrait saisir à la première vue, à moins que l'on n'admette que les différences d'intensité des divers rayons sont un phénomène simplement subjectif.

M. Doppler ne pouvait pas laisser sans réponse la critique si sérieuse de M. Buijs Ballot. Sa réponse a pour titre :

REMARQUES *sur ma Théorie de la lumière colorée des étoiles doubles, avec quelques observations sur les objections de M.* Buijs Ballot.

Il commence par faire ressortir la confirmation apportée à sa théorie avec le fait reconnu par M. Buijs Ballot et les musiciens qui l'aidaient dans ses expériences, que le ton qui s'approche est moins élevé que le ton qui s'éloigne n'est abaissé. La théorie faisait clairement prévoir cette différence. Quant au reproche d'une sensibilité beaucoup trop

Digitized by Google

grande donnée par lui à l'œil, il répond qu'il n'est personne jusqu'ici qui n'ait regardé l'œil comme un sens plus noble, plus distingué, plus délicat que le sens de l'ouïe. Si donc l'oreille, comme en convient M. Ballot, peut percevoir 300,000 tons ou même un million, pourquoi l'œil n'apercevra-t-il pas aussi un million de teintes ou nuances différentes ? D'ailleurs, la lumière très-intense des étoiles permet de distinguer des différences en elles-mêmes très-petites.

Suivant M. Doppler, la comparaison établie par M. Ballot entre la lumière blanche et le bruit ne repose sur aucun fondement, parce que la lumière blanche n'a absolument aucune coloration, tandis que chaque bruit a un son propre qui lui assigne sa place dans l'échelle des sons, ainsi que Savart et d'autres physiciens l'ont clairement démontré. Ce qui serait analogue au bruit dans l'optique, ce serait la lumière colorée, mêlée de beaucoup de lumière blanche. Ce qui, dans l'acoustique, serait analogue à la lumière blanche, ce serait un bruit combinaison neutre de tous les tons possibles.

La troisième objection, la plus spécieuse et la plus forte de celles formulées par M. Ballot, ne semble pas insoluble à M. Doppler. D'abord, l'existence des séries indéfinies de rayons invisibles à droite ou à gauche du spectre solaire, et la transformation possible de ces rayons invisibles en rayons visibles par une augmentation ou une diminution de longueur d'onde, sont une hypothèse nullement démontrée et d'autant moins probable que les rayons invisibles n'ont pas seulement une intensité subjectivement faible, mais encore une intensité objectivement très-petite. De plus, pour que l'objection de M. Ballot eût quelque valeur, il faudrait admettre l'existence d'une lumière blanche absolue, sur laquelle le mouvement ne produirait pas l'effet qu'il produit sur les lumières colorées : ce qui ne peut pas être admis. M. Doppler aussi repousse la théorie de M. Melloni, qui attribue la différente intensité des rayons du spectre à une disposition particulière de l'œil humain.

Il s'efforce enfin de défendre contre M. Buijs Ballot la possibilité et la réalité des vitesses extrêmes qu'il a assignées aux astres. Comme les considérations sur lesquelles il s'appuie n'ont rien de neuf et sont d'ailleurs étrangères à l'optique, nous ne nous y arrêterons pas.

Mais pour jeter un nouveau jour sur cette difficile question, il entre dans de nouveaux détails sur les phénomènes qui doivent naître

Digitized by Google

du déplacement simultané de la source lumineuse et de l'observateur. En désignant par a la vitesse de l'observateur, par b celle de la source, par v la vitesse de propagation de la lumière, par n le nombre absolu de vibrations, par n' ce nombre de vibrations modifié par le mouvement de la source lumineuse, par N la modification totale ou résultante des mouvemens de la source lumineuse et de l'observateur, on trouve :

$$n' = \frac{n}{\left(1 \mp \frac{b}{v}\right)} \qquad N = n' \left(1 \pm \frac{a}{v}\right)$$

et par suite

$$N = n \left(\frac{v \pm a}{v \mp b}\right)$$

Cette formule montre que l'influence d'un mouvement simultané n'est pas seulement additive, mais en quelque sorte multiplicative ou *exaltante*, de telle sorte que dans certains cas, le résultat perçu serait remarquablement plus grand ; dans d'autres, au contraire, remarquablement plus petit que si l'on avait attribué la vitesse relative totale ou à la seule source ou au seul observateur. Si, par exemple, on prend pour la vitesse du son 1027 pieds, et que l'on suppose que la source et l'observateur se meuvent l'un vers l'autre avec une vitesse de 150 pieds, on trouvera que pour un son de 10,000 vibrations par seconde, le ton réellement perçu, en attribuant à l'observateur la vitesse totale de 300 pieds, correspondrait à N = 12930, tandis que la valeur de N déduite de la formule précédente est égale à 13420, ce qui donne une différence de 490 vibrations par seconde.

Cette même remarque s'applique au cas où l'observateur et la source s'éloigneront l'un de l'autre. Ces considérations sont d'autant plus importantes, que les observations se font de la terre, qui non-seulement tourne autour du soleil, mais encore est emportée avec lui dans l'espace, et qu'elles ont pour objets les étoiles doubles, ou les étoiles changeantes, ou d'autres corps célestes soumis à de semblables mouvements. Pour leur donner plus de valeur, M. Doppler examine aussi le cas où l'observateur et l'objet seraient emportés à la fois par plusieurs vitesses dues à l'attraction, et croit avoir suffisamment dissipé ainsi les doutes soulevés.

Il ajoute, qu'alors même qu'il aurait accordé à l'œil une trop grande sensibilité, aux astres une trop grande vitesse, on ne pour-

Digitized by Google

rait pas en conclure que cette théorie n'est nullement applicable à l'explication des phénomènes de la lumière colorée des étoiles doubles, des étoiles nouvellement apparues ou disparues, etc., etc. Car, dit-il, chaque nuance ou chaque variation de couleur exige, pour produire un effet subjectif, une certaine vitesse de mouvement qui dépend de la vitesse de propagation de la lumière et qui est toujours assez considérable. Si cette vitesse est au-dessous de son minimum, il ne pourra plus être question de changement de couleur subjectif; mais il en est autrement des phénomènes d'intensité du rayon, qui dans la théorie des ondulations dépend de la grandeur des excursions et en même temps de la vitesse relative avec laquelle notre rétine vibre au contact des molécules de l'éther. Cette vitesse, dans cette même théorie, est complétement indépendante de la vitesse de propagation de la lumière, tandis qu'au contraire, elle dépend complétement de l'intensité du rayon et peut, par conséquent, devenir de plus en plus petite jusqu'à s'évanouir. Qui pourrait nier qu'il puisse arriver soit dans la théorie d'émission, soit dans la théorie des ondulations, que le mouvement et de l'observateur et de la source exerce une influence réelle sur l'intensité du rayon? N'est-il pas évident qu'un corps lumineux ou éclairé, qui se trouve déjà, par l'effet d'autres causes affaiblissantes, au dernier degré pour ainsi dire de la sensibilité, devienne complétement invisible au moindre mouvement rétrograde de l'observateur ou du corps lumineux, tandis qu'au contraire, tel corps qui n'est pas visible pourra le devenir aussitôt que l'observateur commencera à se rapprocher ou que lui-même s'avancera vers l'observateur. Sous ce rapport, évidemment, dit M. Doppler, ma théorie s'accorde avec les données de la science. Il se défend ensuite de certaines allégations que lui prêtait M. Buijs. Il n'a dit nulle part que les étoiles prises en masse avaient une lumière absolument blanche : il a dit seulement que la lumière blanche est la lumière ordinaire des cieux étoilés, mêlée çà et là à des rayons colorés. Il insiste sur ce fait que les étoiles colorées apparaissent là surtout où l'observation et l'analogie forcent précisément à admettre l'existence de mouvements propres très-rapides; il fait appel à des observations plus nombreuses et plus précises qui puissent mettre en évidence la nature réelle de la lumière des étoiles. Sa discussion des observations antérieures faite par M. Buijs Ballot ne l'effraie pas, au contraire.

Digitized by Google

Ce fait, par exemple, que sur 376 couples d'étoiles, 118 sont jaunâtres et 63 seulement bleuâtres, ou qu'il y en a beaucoup plus de jaunes ou rouges que de bleues ou vertes, s'expliquerait parfaitement en remarquant que, d'après sa théorie, le ton ou la couleur du corps qui s'éloigne s'abaisse plus que le ton ou la couleur du corps qui s'approche ne s'élève.

Il termine enfin son mémoire en considérant sous le point de vue de sa théorie certains phénomènes des cieux.

1° On sait que les quatre satellites de Jupiter présentent des intensités de lumière très-variables, de sorte que c'est tantôt l'un, tantôt l'autre qui se montre le plus brillant. On ne peut pas attribuer ces inégalités à un changement de phase, car les satellites n'ont pas de phases ; on a essayé de les expliquer par l'inégalité de pouvoir réfléchissant des diverses zones des satellites. Ne serait-il pas plus simple d'en chercher la cause dans les mouvements relatifs de la terre et des satellites de Jupiter? les variations de ces mouvements relatifs peuvent atteindre 13 ou 14 milles par seconde, c'est plus qu'il n'en faut dans la théorie de M. Doppler pour tout expliquer.

2° Les changements de couleur et d'intensité que l'on remarque dans la lumière des nouvelles planètes sont aussi très-singulières. Cérès, en particulier, est très-remarquable : elle est tantôt blanche, tantôt manifestement rougeâtre, tantôt évidemment bleuâtre ; tantôt ces petites planètes apparaissent comme enveloppées d'une atmosphère ou de nébulosités mal éclairées, tantôt, au contraire, leur lumière est très-nette. Ces anomalies, dit M. Doppler, s'expliqueraient dans ma théorie avec une simplicité merveilleuse, et il est vivement à désirer que les personnes qui ont des loisirs scientifiques s'appliquent avec ardeur à ce genre d'observations.

On a aussi observé, relativement au septième satellite de Saturne, qu'il paraissait toujours plus éclairé ou plus brillant à l'est, c'est-à-dire du côté où il s'avance vers nous, qu'à l'ouest, dans le voisinage de son élongation occidentale où il s'éloigne de nous : cette variation de lumière doit se retrouver aussi chez d'autres satellites. La vitesse de ce satellite n'est pas très-grande, mais il ne faut pas oublier que sa lumière est très-faible, et que d'ailleurs il faut tenir compte aussi de la vitesse relative de Saturne et de la terre.

3° Il est remarquable au plus haut degré que, pour toutes les

Digitized by Google

étoiles variables observées jusqu'ici avec soin, l'augmentation d'éclat, sans une seule exception, ait lieu beaucoup plus vite que la diminution. La probabilité que ce fait exige une explication commune et non pas des explications particulières est comme 16384 est à 1. L'explication commune est évidente dans la théorie de M. Doppler.

4° Pour toutes les étoiles variables, à l'exception d'Algol, la période de minimum est plus longue que la période de maximum; c'est encore une conséquence nécessaire de la nouvelle théorie.

5° La période d'augmentation ou de diminution d'éclat de certaines étoiles est variable, comme M. Doppler l'a déjà remarqué, c'est-à-dire tantôt plus courte, tantôt plus longue : pour *Mira ceti*, par exemple, la période est tantôt de 328 jours et demi, tantôt de 338 jours un quart. M. Doppler attribue cette différence à l'influence du mouvement de la terre ; il assigne, *à priori*, le temps après lequel la période reprend la même durée, et désire ardemment que les astronomes vérifient par des observations suivies les conclusions auxquelles il est arrivé.

6° M. Struve a observé dans les deux astres de l'étoile double γ de la Vierge un changement alternatif de lumière; c'est tantôt l'une, tantôt l'autre qui est du plus grand éclat : ce fait a de l'importance, dans la théorie de M. Doppler, et s'explique alors sans difficulté.

7° Notre système solaire se trouve, comme l'ont démontré Herschel et Argelander, vers une certaine étoile située dans la constellation d'Hercule ou des Pléïades, suivant M. Maedler. Il va aussi de l'hémisphère sud vers l'hémisphère nord. Ce mouvement dans la théorie de M. Doppler aurait pour effet, 1° de rendre visible, dans l'hémisphère nord, de nouvelles étoiles invisibles; dans l'hémisphère sud, d'anciennes étoiles; 2° d'appauvrir en quelque sorte l'hémisphère sud de petites étoiles : or, de fait, l'hémisphère sud est excessivement pauvre en petites étoiles, ce qui lui donne un aspect tout particulier.

8° Enfin, il est très-remarquable que tous les astres qui s'éteignent ont, avant de s'éteindre, une nuance rougeâtre; ce fait est sans exception, on l'a observé même pour la grande comète de 1843.

En résumé, M. Doppler reste convaincu que les objections soulevées ne renverseront en aucune manière sa théorie ; elle lui semble plus probable et plus applicable que jamais; il est intimement per-

Digitized by Google

suadé que le temps la vengera des attaques prématurées dont elle a été l'objet, et qu'elle est un moyen excellent pour pénétrer plus avant dans les profondeurs des cieux. Le silence, au reste, l'aurait désolé; mieux vaut l'opposition qui ne le découragera pas.

M. Scott Russell, l'illustre inventeur des ondes solitaires, un des savans qui, de nos jours, ont le mieux étudié les phénomènes du son, a été amené à faire en Angleterre des expériences qui confirment, en apparence du moins, la théorie de M. Doppler.

Il nous est impossible de nous expliquer comment M. Scott Russell, dans la communication faite par lui à l'association britannique, a eu le triste courage de ne pas même nommer le savant professeur de Prague. C'est une ignorance ou une injustice impardonnable.

9° *De l'effet d'un mouvement rapide de l'observateur sur le son;* par M. Scott Russell.

Jusqu'au moment où l'on a imprimé une très-grande vitesse aux convois sur les chemins de fer, on n'avait point eu d'occasion d'observer les phénomènes dans lesquels la vitesse de l'observateur est capable d'affecter le caractère des sons. L'auteur ayant eu occasion de faire quelques observations sur des convois se mouvant avec une grande rapidité a été conduit à signaler quelques effets très-curieux dans les sons entendus avec une vitesse de 50 à 80 milles à l'heure (20 à 24 lieues de 4,000 mètres). Un observateur fixe ne perçoit pas ces effets. M. Russell a trouvé que le son d'un sifflet d'une machine fixée sur la ligne était perçu par le voyageur qu'emportait un convoi rapide, suivant une note différente ou un autre ton que celui entendu par une personne voisine du sifflet. La même chose a lieu pour tous les sons. Le voyageur emporté par un mouvement rapide le perçoit dans un ton plus bas ou plus élevé que le vrai ton fixe. Voici l'explication de ce fait.

Le ton d'un son musical est déterminé par le nombre de vibrations que l'oreille reçoit en une seconde : 32 vibrations par seconde d'un tuyau d'orgue donnent le son fondamental, et un nombre plus grand ou plus petit de ces vibrations donne naissance à un son plus aigu ou plus grave. Ces vibrations se mouvant avec une vitesse de 1024 pieds (anglais) par seconde, si un observateur, sur un chemin de fer, se meut à raison de 56 milles à l'heure, vers un corps

Digitized by Google

résonnant, il rencontrera un plus grand nombre d'ondulations dans une seconde de temps que s'il reste en repos, et cela dans le rapport de la vitesse qu'il peut avoir à celle du son ; tandis que s'il s'éloigne du corps sonore, il rencontrera au contraire un nombre proportionnellement moindre de ces vibrations. Dans le premier cas il percevra un demi-ton plus haut, et dans le second un demi-ton plus bas que l'observateur fixe. Dans le cas de deux convois se mouvant avec cette même vitesse, l'un sur lequel se trouve le corps sonore et l'autre portant l'observateur, l'effet sera doublé. Avant que les convois se rencontrent, le son est entendu deux demi-tons plus haut, et après qu'ils ont passé, deux demi-tons plus bas : différence entière d'une tierce majeure.

L'auteur a cherché ensuite à expliquer les effets variés que les bruits d'un convoi produisent sur l'oreille des voyageurs à de grandes vitesses. Les sons d'un convoi, réfléchis par des surfaces comme celle des ponts qu'on trouve sur la ligne, sont, à des vitesses ordinaires, renvoyés à l'oreille, modifiés au moins d'un demi-ton, au point de produire un désaccord désagréable, qui est un élément de l'effet pénible dont l'oreille est affectée quand on passe sous un pont. Dans un conduit souterrain, aussi, les sons réfléchis par les irrégularités en avant ou en arrière du convoi ne sont plus en accord avec ceux perçus directement. Il faut ajouter, toutefois, qu'à une vitesse de 112 milles à l'heure, ces sons pourraient être en harmonie les uns avec les autres et devenir agréables, parce que les sons réfléchis dans des directions opposées auraient entre eux l'intervalle d'une tierce majeure.

Sir David Brewster fait remarquer que, dans son opinion, l'explication de cet effet curieux du mouvement rapide de l'observateur sur le son devrait être cherchée dans des causes physiologiques plutôt qu'acoustiques, et il signale quelques phénomènes qu'il considère comme analogues dans la lumière ; telles sont l'augmentation de lumière aux limites des ombres mobiles, la netteté parfaite avec laquelle on peut voir les objets à travers des ouvertures faites dans des écrans se mouvant avec rapidité, et la production des couleurs par des écrans en mouvement dans certaines circonstances.

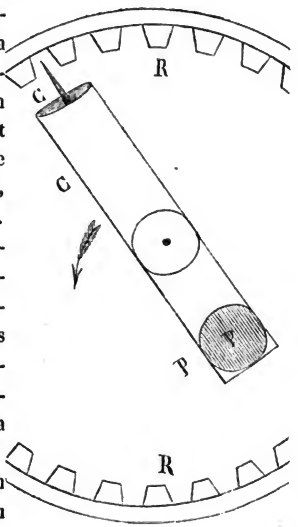
M. W. S. Harris pense que tous ces effets peuvent s'expliquer par la théorie ondulatoire des sons de la manière dont ils l'ont été par M. Scott Russell.

Digitized by Google

La France, enfin, n'est pas restée en arrière du progrès, et M. Doppler a trouvé dans M. Hippolyte Fizeau un interprète et un expérimentateur digne de lui.

Particularités que présente le son lorsque le corps sonore ou l'observateur sont animés d'un mouvement de translation rapide, avec quelques considérations relatives à des phénomènes correspondants que doit présenter la lumière, par M. H. FIZEAU.

Si un corps sonnant émettant un son continu toujours identique se meut avec une vitesse comparable à celle du son, les ondes sonores ne seront pas symétriquement disposées autour du corps sonore, comme cela a lieu lorsqu'il est en repos ; mais elles seront plus rapprochées les unes des autres dans la région vers laquelle aura lieu le mouvement et plus éloignées dans la région opposée ; pour un observateur, placé en avant ou en arrière du corps sonore, le son sera donc différent, plus aigu dans la première position, plus grave dans la seconde.



En calculant les vitesses qui correspondent aux intervalles de la gamme, on trouve les nombres suivants. Pour produire une élévation d'un demi-ton, le corps sonore doit avoir une vitesse par seconde de 21,25, pour un ton majeur de 37,8, pour la tierce 68, pour l'octave 170. Dans le cas du corps sonore immobile, et pour obtenir les mêmes notes, l'observateur doit avoir les vitesses 22, 6 ; 42, 5; 85 et 340. Les sons émis ou reçus dans des directions différentes de celles du mouvement se calculent en projetant la vitesse sur la nouvelle direction.

L'auteur donne la description d'un appareil qu'il a employé et au

Digitized by Google

moyen duquel on peut vérifier et démontrer commodément ces curieuses propriétés du son, dans le cas du mouvement du corps sonore. Cet appareil est fondé sur le principe des roues dentées de M. Savart, mais la disposition est inverse. Au lieu de dents mobiles rencontrant dans leur mouvement un corps élastique fixe, c'est le corps élastique qui est placé sur la circonférence d'une roue, et qui rencontre dans son mouvement des dents fixes placées sur la concavité d'un arc extérieur immobile. L'on a ainsi un appareil fixe qui jouit de la propriété d'émettre des sons différents dans chaque direction particulière.

Si l'observateur à son tour est supposé en mouvement, le corps sonore restant immobile, le résultat sera semblable; mais la loi du phénomène est différente. Pour une certaine vitesse de rotation, par exemple, on aura en avant le son fondamental, en arrière l'octave, et toutes les notes de la gamme dans des directions intermédiaires.

En appliquant ces considérations à la lumière, on arrive à des conséquences curieuses et qui pourraient acquérir de l'importance si l'expérience venait à les confirmer. Un mouvement très-rapide et comparable à la vitesse de la lumière, attribué au corps lumineux ou à l'observateur, aura pour effet d'activer la longueur d'ondulation de tous les rayons simples qui composent la lumière reçue dans la direction du mouvement. Cette longueur sera augmentée ou diminuée suivant le sens du mouvement. Considéré dans le spectre, cet effet se traduira par un développement des raies correspondant au changement de la longueur d'ondulation.

En calculant la valeur du déplacement angulaire de la raie D dans le cas ou le corps lumineux aurait la vitesse de la planète Vénus, le spectre étant formé au moyen d'un prisme de flint de 60°, on trouve 2″, 65.

Pour le cas où l'observateur seul serait en mouvement et animé d'une vitesse égale à celle de la Terre, on trouve 2″, 25.

En supposant que l'on mesure les déviations doubles et que l'on se place successivement dans des conditions où les mouvements en question seraient de signe contraire, ces quantités peuvent être quadruplées, et l'on a 10″, 6′ et 9″ pour les valeurs précédentes.

L'auteur termine en examinant si les conséquences déduites par lui relativement à la lumière pourront être soumises à l'observation,

Digitized by Google

et il pense que les difficultés ne sont pas telles qu'on ne puisse espérer de les surmonter.

On le voit donc, M. Fizeau n'accepte pas que les vitesses relatives du corps lumineux et de l'observateur puissent changer la couleur de la lumière, parce qu'il admet, comme déduction rigoureuse des expériences faites par lui et M. Foucault sur le spectre lumineux ou calorifique, qu'à gauche du rouge et à droite du violet, il y a une succession indéfinie de rayons de longueurs d'ondes indéfiniment croissantes ou indéfiniment décroissantes, et qui sont comme toutes prêtes à remplacer le rouge et le violet qui se transformeraient par la diminution ou l'augmentation de leur longueur d'onde. Mais il n'est pas douteux pour le jeune et savant physicien, que les déplacements du corps lumineux et de l'observateur, en diminuant ou augmentant les longueurs d'ondes, doivent infailliblement amener un déplacement des raies du spectre, déplacement qu'il ne désespère pas de mettre en évidence.

Qui a tort ou raison, du physicien de Paris ou du physicien de Prague? L'un et l'autre peut-être; car, d'une part, les déductions de M. Fizeau sont certaines, et de l'autre, en tenant compte des intensités en même temps que des longueurs d'ondes, on est tenté et presque forcé d'admettre avec M. Doppler que le mouvement amènera des changements de couleur, comme dans l'acoustique il amène des changements de ton. L'observation, au reste, prononcera, et, nous l'espérons, elle ne se fera pas longtemps attendre.

Qu'il nous soit permis de dire en finissant que nous avons longtemps repoussé et combattu la théorie de M. Doppler. Il nous semblait que le ton d'un son devait dépendre uniquement du nombre des vibrations du corps sonore, et nullement du plus ou moins grand nombre d'ondes qui rencontrent l'oreille dans un temps donné; et nous trouvions une preuve irrécusable de nos convictions dans le fait observé par Savart, que le ton produit par une roue de trente-deux dents reste rigoureusement le même, quand on réduit le nombre des dents à seize, à huit, à quatre, à deux, en laissant leur intervalle le même. Et cependant, quand il y a trente-deux dents, le nombre des pulsations reçues par l'oreille est seize fois plus grand que lorsque le nombre des dents a été ramené à deux. Quand Savart

Digitized by Google

aussi accolait deux roues d'un même nombre de dents, et de telle sorte que les dents de l'une répondissent au milieu des intervalles de l'autre, les deux roues en frappant une même carte donnaient des sons qui s'ajoutaient sous le rapport de l'intensité, mais nullement sous le rapport du ton, qui restait le même, au lieu de passer à l'octave; l'oreille, cette fois encore cependant, recevait un nombre double d'impulsions. Partant de ces expériences certaines, nous étions portés à croire que le mouvement de l'observateur ou de la source sonore ne pouvait en aucune manière altérer intrinsèquement la longueur d'ondulation ; que le son perçu devait par conséquent rester toujours le même ; que le seul effet du mouvement était d'augmenter ou de diminuer le nombre des impulsions reçues par l'oreille, comme dans le cas des roues dentées de Savart. Il nous paraissait absurde d'admettre comme cela est nécessaire dans la théorie de M. Doppler : 1° que les on qui n'est pas perçu par l'observateur, parce que celui-ci s'éloigne de la source sonore avec la vitesse de propagation du son, est un son infiniment grave ou d'une longueur d'onde infinie; 2° que le ton perçu par ce même observateur s'approchant cette fois de la source avec la même vitesse de propagation du son, est infiniment aigu, ou d'une longueur d'onde infiniment courte. Il nous semblait dès lors que MM. Doppler et Fizeau avaient mal interprété leurs formules ; car une interprétation vraie pour le cas de vitesses plus petites que la vitesse de propagation du son doit être vraie encore aux limites. Nous revenions ainsi à notre idée première, qu'il y avait une erreur substantielle dans les bases de la nouvelle théorie, qu'on avait confondu à tort le nombre des impulsions reçues par l'oreille et les variations de ces nombres d'impulsions avec les variations de longueur d'onde impossibles peut-être en elles-mêmes, ou du moins gratuitement affirmées. Tout le monde conviendra que quand l'observateur s'éloigne de la source sonore avec la vitesse de propagation du son, son oreille ne reçoit aucune impulsion, qu'il en reçoit un nombre infini ou que la sensation persévère absolument quand il s'approche avec cette même vitesse, sans que la longueur d'ondulation se trouve en aucune manière en jeu : dès lors, pourquoi dans les cas intermédiaires ne serait-ce pas la même chose, et le phénomène ne se bornerait-il pas à la perception d'un plus ou moins grand nombre d'impulsions ou de chocs

Digitized by Google

sans qu'on en puisse rien conclure par rapport à la longueur d'ondulation ? Voilà notre objection aussi nettement exprimée qu'il est possible, objection sans fondement peut-être, objection peut-être aussi grandement fondée. Nous l'avons proposée à bien des physiciens illustres qui sont restés aussi embarrassés que nous. MM. Doppler et Fizeau nous renvoyaient à leurs formules; mais, comme nous l'avons prouvé, ces formules n'expriment pas, nous le croyons, ce qu'on prétend leur faire exprimer ; et la preuve, c'est qu'elles sont absurdes à la limite, qu'il y a là un un saut brusque, preuve invincible d'une mauvaise interprétation.

Les expériences de MM. Buijs Ballot et Scott Russell sont loin d'être concluantes; elles ont été mal faites. Il fallait étudier l'influence produite non pas sur un son isolé de trompette ou de sifflet, mais sur un accord parfait, sur un air ; on se serait ainsi mis à l'abri des variations d'intensité qui rendent tout à fait impossible, nous ne craignons pas de le dire, la perception d'une variation égale à un demiton, comme MM. Scott Russell et Buijs Ballot croient l'avoir observé. Il faudrait n'avoir jamais fait d'acoustique et n'avoir jamais déterminé le nombre des vibrations d'un seul son, pour ignorer que l'intensité du son a une influence énorme sur l'appréciation du ton. Qu'on consulte à cette égard M. Marloye, il dira avoir vu des musiciens célèbres, des maîtres de l'art se tromper d'une octave entière. M. Halévy, par exemple, voulait que le son produit par le diapason monstre de M. Marloye fût le son d'un tuyau de seize pieds, tandis que c'était bien réellement le son d'un tuyau de huit pieds. La cause unique de son erreur était la grande intensité du son du diapason.

Les expériences hollandaises et anglaises ne prouvent rien. Reste l'expérience de M. Fizeau ; elle résiste certainement à l'objection que nous venons de formuler, car cette fois les variations de ton sont énormes et les intensités changent à peine, parce que le corps sonore et l'observateur sont rigoureusement à la même distance. Mais est-il bien vrai que le déplacement de la carte équivale au déplacement de la source sonore ou de l'observateur, et que ce mode d'opérer de M. Fizeau soit bien celui qu'exigeait la vérification de la théorie de M. Doppler ? Est-il bien vrai que la différence de ton observée par M. Fizeau ne puisse pas s'expliquer autrement qu'il ne l'a fait ? M. Seebeck perça dans un carton un certain nombre de trous, 64,

Digitized by Google

par exemple, puis, au milieu des intervalles de cette première série de trous, une seconde série de trous en nombre égal, et fit aboutir devant ces deux séries deux tubes par lesquels une même soufflerie faisait arriver deux courants d'air ; c'était l'expérience de la Sirène modifiée. Or, M. Seebeck, plus heureux que M. Savart, obtint que le son produit par l'écoulement de l'air à travers la seconde série de trous s'unirait au son de la première série pour produire l'octave, ce que l'on n'obtenait pas avec les deux roues dentées de M. Savart. Or, quelque chose de semblable ne se produirait-il pas dans l'expérience de M. Fizeau? Enfin, M. Savart a démontré, et nous avons remarqué avec lui, que la propagation du son et la forme de l'onde dépendent du mode d'ébranlement primitif ; l'ébranlement en sens contraire déterminé par la roue dentée de M. Fizeau pourrait dès lors créer des sensations différentes.

Encore un autre doute : nous avons toujours été insensiblement conduits à penser que le ton du son perçu dépendait moins de la longueur d'onde que du nombre de vibrations du corps sonore et lumineux. La longueur d'onde, en effet, dépend à la fois et de la vitesse de propagation et du nombre des vibrations ; mais la vitesse de propagation est un facteur commun à toutes les longueurs d'onde, à tous les tons et à toutes les nuances. Dès lors, par le principe du mouvement et des impressions relatives, l'oreille et l'œil, dans la comparaison de ces tons et de ces nuances, ne doivent tenir aucun compte de l'influence commune de la vitesse de propagation, pour ne différentier les diverses impressions que par l'action du facteur propre à chacune d'elles, c'est-à-dire, du nombre des vibrations. Il semble, par conséquent, que les variations de la longueur d'ondulation ont moins d'effet sur la perception du ton et de la nuance que M. Doppler semble le supposer. Il est un moyen facile de vérifier l'exactitude ou la fausseté de cette assertion. Ce serait de savoir si le son d'une cloche, par exemple, mise en vibration, et entendue dans l'eau, est plus aigu que lorsque la cloche vibre et est entendue dans l'air. Dans l'eau, en effet, la longueur d'ondulation est plus courte, elle est plus longue dans l'air. Nous n'avons pas sous la main les ouvrages nécessaires pour pouvoir vérifier si, en effet, le ton d'un son varie suivant le milieu au sein duquel il se produit et se propage; nous ferons cette vérification plus tard. On a soulevé aussi contre la

Digitized by Google

théorie de M. Doppler une objection que nous sommes heureux de pouvoir résoudre complétement.

On se disait : un observateur immobile, placé sur la direction de propagation d'un mouvement sonore ou lumineux, perçoit la sensation du son primitivement produit ; si la vitesse de l'observateur faisait varier le ton de ce son, il faudrait admettre qu'un même son peut produire en un même point de l'espace une multitude de sensations diverses, ce qui paraît impossible. La réponse est très-simple : en effet, il n'y a rien d'absurde à ce que les phénomènes subjectifs diffèrent complétement entre eux et du phénomène objectif ; ou qu'un seul phénomène objectif engendre un grand nombre de phénomènes subjectifs très-différents. Nous avons, par exemple, sous les yeux une feuille de papier blanc sur laquelle un certain nombre de personnes jetteront les yeux, l'une immédiatement, les autres après avoir longtemps contemplé une surface éclairée par de la lumière rouge, orangée, jaune, etc.; la première personne verra du blanc, la seconde du vert, la troisième du violet, la quatrième du bleu, etc. ; et cela par une raison très-simple, parce que la sensation produite sur l'œil de la seconde, de la troisième, de la quatrième personne, etc., sera modifiée par la sensation précédemment subie, de manière à ce qu'elles perçoivent nécessairement la sensation de la couleur complémentaire. Un même éclairement objectif peut donc déterminer et détermine de fait, en un même point, des impressions subjectives très-différentes ; cette dernière objection est par conséquent futile.

Arrêtons-nous. La question de l'influence du mouvement de l'observateur et de la source sonore et lumineuse sur la sensation de la couleur ou du ton est une question nouvelle, et nous avons dû reproduire en détail toutes les études dont elle avait été l'objet. Nous avons tout analysé, développements et objections, le temps fera le reste ; il dissipera les illusions et fera sortir la vérité des nuages qui la voilent encore.

RÉFLEXION DE LA LUMIÈRE.

Comme toutes les études récentes faites sur la réflexion de la lumière comprennent en même temps les modifications que présente

Digitized by Google

le rayon réfléchi sous le rapport de la polarisation, elles ne doivent pas trouver place ici : nous les insérerons au chapitre de la polarisation.

RÉFRACTION, DÉCOMPOSITION DE LA LUMIÈRE, DISPERSION CHROMATIQUE.

La question physique la plus étudiée et la plus débattue, dans ces dernières années, est bien certainement la question délicate de la composition de la lumière. Dans notre second volume, nous avons longuement exposé la théorie de M. Brewster et sa nouvelle analyse du spectre solaire. M. Brewster veut absolument que le spectre le plus pur soit formé de trois spectres superposés : le premier rouge, le second jaune, le troisième bleu ; de telle sorte que chacune des trois couleurs s'étende sur le spectre entier, et que la nuance d'un point quelconque du spectre résulte du mélange de trois rayons colorés, rouge, jaune, bleu, ayant exactement la même réfrangibilité. Nous répugnons invinciblement à admettre cette théorie, et nous avons cru devoir la combattre avec quelque vivacité, en prouvant surtout que les expériences de M. Brewster sont faites dans des conditions trop mauvaises, logiquement parlant, pour qu'on en puisse rien conclure ; nous renvoyons à ces remarques critiques, auxquelles nous tenons plus que jamais. Il semble que nous ayons donné le signal du combat, car nous avions à peine mis la dernière main à notre réfutation, que les attaques ont surgi de toutes parts. De nobles champions sont entrés dans la lice ; ce sont : MM. Airy, Draper, Melloni, etc. M. Brewster a fait face à tous ses ennemis avec un courage vraiment juvénile, et une conviction de plus en plus inébranlable et vive. Voici les notes auxquelles cette grande controverse a donné lieu.

Sur la nouvelle analyse du spectre solaire de M. BREWSTER, *par M.* AIRY, *astronome royal.*

M. Airy raconte d'abord les circonstances qui l'ont amené à donner de la publicité à ces observations critiques, qui datent déjà de seize années.

Arrivant ensuite au fond, il fait observer qu'alors même que les

Digitized by Google

faits énumérés par M. Brewster seraient complétement démontrés, la conclusion à laquelle il arrive, à savoir, l'existence exclusive de trois couleurs, serait encore très-douteuse. Il est bien certain que les couleurs apparentes du spectre peuvent aussi être reproduites par les combinaisons d'autres couleurs que celles admises par M. Brewster, et par conséquent la préférence donnée au rouge, au jaune et au bleu, n'est pas suffisamment fondée en raison. Il est tout naturel que l'attention du lecteur se porte principalement sur ces couleurs, car sir David Brewster développe longuement les détails de sa théorie avant de décrire ses expériences, de sorte qu'en lisant son mémoire, on se familiarise insensiblement avec l'idée des trois spectres superposés. Mais pour ceux qui approfondissent les faits isolés du mémoire, ils s'aperçoivent bientôt que les expériences n'entraînent en aucune manière cette conclusion anticipée. La seule chose que ces expériences mettraient en relief, ce serait que par l'emploi de divers milieux absorbants, certaines portions du spectre éprouvent des changements notables de couleurs. Et la seule question que M. Airy dût se proposer était celle-ci : Est-il démontré que la couleur d'une portion quelconque du spectre soit changée par l'emploi d'un milieu absorbant quelconque ?

La seconde observation de M. Airy signale dans les expériences de sir David Brewster une source possible d'erreur. Il ne ressort pas de son mémoire que le spectre modifié ou changé ait été comparé immédiatement avec le spectre primitif. Or, M. Airy est convaincu que l'œil n'a en aucune manière la mémoire des couleurs, et qu'on ne peut porter aucun jugement sur un changement de couleurs, tant que la couleur changée n'est pas en présence de la couleur non altérée.

M. Airy fait remarquer en troisième lieu qu'il semble que M. Brewster n'ait pas pris des précautions suffisantes pour éloigner de l'œil toute autre lumière que celle qu'il s'agissait d'étudier. Il est certain, au moins, que dans une expérience de Sir William Herschel, sur laquelle M. Brewster s'appesantit longuement, il y avait réellement mélange de lumière étrangère ou accidentelle. « Lorsque le spectre fut projeté sur la surface du laiton, la couleur du laiton faisait apparaître orangés les rayons rouges, et les rayons orangés étaient dans tous les cas autres qu'ils n'auraient dû être. » Mais quand on lit le mé-

Digitized by Google

moire d'Herschel, on voit que le spectre provenait d'un prisme fixé à la paroi supérieure d'une fenêtre ouverte; et dès lors, il n'est pas difficile de prédire à l'avance que la lumière donnée par les autres portions de la fenêtre a dû exercer une certaine influence.

M. Airy arrive ensuite à la description de la manière dont il a organisé ses propres expériences.

Il rendit obscur son amphithéâtre par la fermeture des volets, dont les jointures ne laissaient passer presque aucune lumière. A travers un trou fait dans l'un de ces volets, on empruntait un rayon solaire qu'un réflecteur projetait dans une direction convenable. Derrière le trou, mais à une distance suffisante pour laisser place au milieu absorbant, se trouvait une plaque de métal avec une ouverture de deux pouces de longueur et de largeur variable. Le rayon lumineux sortant de cette ouverture tombait sur un très-bon prisme placé à un pied environ, et dont l'axe était parallèle aux bords de l'ouverture. Derrière le prisme on avait disposé une grande lentille qui ramenait à la convergence les rayons sortis divergens de l'ouverture et dispersés par le prisme; l'on obtenait de cette manière sur un écran de papier un très-bon spectre, suffisamment pur, et sur lequel ressortaient plusieurs des bandes de Fraunhofer; on écartait avec le plus grand soin de l'écran toute autre lumière.

Pour montrer l'action d'un milieu absorbant, il suffisait de le placer devant l'ouverture, de telle sorte qu'il interceptât, en la laissant passer, une portion de la lumière transmise à travers l'ouverture. La portion correspondante du spectre subissant les changements apportés par l'absorption, sans que ces changements se communiquassent à l'autre portion non modifiée du spectre, les raies noires se continuaient sans déviation sur les deux portions, séparées seulement par une petite interruption semblable à celle qu'amènent ordinairement les surfaces de séparation des milieux réfringents. Il était impossible de se placer dans des conditions plus favorables pour la comparaison facile des portions modifiées et non modifiées du spectre.

M. Airy est, dit-il, hors d'état de donner le catalogue complet des milieux absorbants expérimentés par lui. Il fit plusieurs essais avec le verre coloré en bleu par le cobalt, et les autres sortes de verres colorés qui lui avaient été procurés par un commerçant

Digitized by Google

en verres. Il employa tous les fluides colorés qu'un chimiste put lui préparer, et spécialement le vin de Porto et le Porter. Les liquides étaient placés dans des bouteilles plates; il eût été mieux d'employer des vases légèrement prismatiques, parce qu'on aurait pu de cette manière opérer immédiatement sur des épaisseurs inégales.

Des résultats obtenus par lui, de cette manière, M. Airy ne peut conclure qu'à une assertion négative, à savoir, que ses expériences n'ont mis en évidence aucun changement dans la qualité des couleurs. Ses recherches les plus patientes n'ont pas même pu créer dans son esprit un soupçon de changement de couleurs. Deux ou trois fois seulement, il crut voir la couleur bleue s'étendre des deux côtés, et apercevoir des coupures, d'une part, sur le vert, de l'autre, sur le bleu; mais ce soupçon s'évanouit tout à coup, lorsqu'il vint à fermer avec plus de soin les ouvertures à travers lesquelles un peu de lumière étrangère se disséminait entre le trou du volet et l'ouverture de la plaque métallique.

M. Airy convient cependant que les résultats négatifs obtenus par lui, par cela même qu'ils sont négatifs, peuvent être combattus et renversés par une seule observation positive contraire. Mais il faudrait que cette observation ne fût sujette à aucun doute, car M. Airy ne craint pas d'affirmer que, parmi les expériences antérieures aux siennes, il n'en est pas une seule contre laquelle on ne puisse soulever des objections plausibles. Il termine en rappelant qu'il est deux conditions absolument nécessaires à remplir pour l'exactitude des observations : 1° la juxta-position des spectres modifiés et non modifiés; 2° l'exclusion de toute lumière étrangère et accidentelle.

Il importe aussi beaucoup que l'expérimentateur se mette en garde contre les changements que l'augmentation ou la diminution d'intensité de la lumière apporte à la qualité ou à la nuance. Chacun sait, par exemple, que quand le soleil naissant commence à se colorer d'une faible lumière jaune, cette lumière, réfléchie par un mur badigeonné de blanc, prend une teinte rouge éclatante, quoiqu'il n'y ait aucune raison de croire que la nuance ait été réellement et intrinsèquement modifiée.

Réponse de M. BREWSTER *aux attaques de M.* AIRY.

Il était facile de prévoir que M. Brewster serait froissé de cette

Digitized by Google

attaque imprévue et rétrospective de l'astronome royal, et qu'il se hâterait de descendre dans la lice. Sa réponse, en effet, ne s'est pas fait longtemps attendre. Nous allons l'analyser dans ses parties essentielles, sans nous arrêter à la question d'inconvenance grave qui étonne et irrite si fort le célèbre physicien écossais.

Le doute, l'unique doute soulevé par M. Airy peut se traduire ainsi : Est-il démontré que la couleur de l'une quelconque des portions du spectre a été modifiée substantiellement dans son passage à travers un milieu absorbant? A cette question M. Brewster, avec d'autres physiciens, a répondu il y a longtemps et catégoriquement : que des milieux absorbants ont réellement changé la couleur de diverses portions du spectre. Cette réponse, il l'articule plus fortement encore aujourd'hui, en déclarant hautement qu'il préfère mille fois croire que M. Airy est Daltoniste ou ne distingue pas les couleurs, plutôt que d'admettre que lui, Brewster, ait été complétement aveugle pendant les cinquante années qui viennent de s'écouler.

M. Airy affirme que l'œil ne possède, en fait de couleur, aucune mémoire, et qu'il était par conséquent indispensable de comparer immédiatement le spectre modifié au spectre primitif. M. Brewster dit qu'un exercice de cinquante ans a conquis à son œil la mémoire sur des couleurs, et que, sans aucune comparaison immédiate, il peut très-bien distinguer, par exemple, si un espace vert a tiré sur le jaune ; et que quand une portion de lumière blanche, par l'action du milieu absorbant, est venue se placer à côté d'une portion rouge, il les distingue aussi bien qu'il distingue une amande d'une cerise.

M. Brewster prie ensuite M. Airy de se rappeler qu'il a inventé le premier, et lui a montré réalisée, il y a quelques quinze ans, cette prétendue méthode nouvelle de la juxta-position des spectres modifié et primitif; il en appelle pour preuve à la mémoire du grand astronome et à des documents authentiques.

En 1822, M. Brewster communiqua pour la première fois à la Société royale d'Édimbourg un mémoire dans lequel il décrivait plusieurs expériences tendant à prouver que la couleur de quelques portions du spectre pouvait être changée par le passage à travers les milieux absorbants; que, par exemple, on pouvait faire apparaître une zone jaune du côté le plus réfrangible de la raie D. Vers le même temps, sir John Herschel lui écrivait une lettre dans laquelle il était arrivé, par des expériences semblables, à la même conclusion. Hers-

Digitized by Google

chel avait vu que la transmission du rayon lumineux à travers un verre de cobalt faisait disparaître l'orangé, et le remplaçait par un rouge nouveau qui confinait d'une part au rouge primitif, de l'autre au jaune; le nouveau et l'ancien rouge avaient identiquement la même couleur; il était impossible de les distinguer.

Depuis l'année 1822 jusqu'en 1831, pendant dix longues années, M. Brewster a eu l'occasion de regarder le spectre solaire à travers cent milieux solides, fluides, gazeux, combinés de toutes les manières possibles. Ces observations l'amenèrent à présenter à la Société royale d'Édimbourg son mémoire sur une nouvelle analyse de la lumière solaire, généralisation très-étendue de son premier travail. Il s'efforçait de prouver par des expériences spécifiques que le spectre solaire est un mélange décomposable par les milieux absorbants. Il avait réussi à séparer une portion de lumière blanche que le prisme ne pouvait pas décomposer. Mais comme ce n'est pas là le point essentiel du débat soulevé entre lui et l'astronome royal, il ne s'arrête pas davantage à l'analyse de ses anciennes recherches.

Il rappelle seulement que le mémoire sur la nouvelle analyse de la lumière lui valut le prix de Keith; ce prix fut accordé dans une délibération à laquelle prenait part l'illustre professeur Forbes, qui avait lui-même fait beaucoup d'expériences sur les milieux absorbants.

M. Airy a fait en 1833 les expériences qui l'ont, dit-il, conduit à affirmer que les milieux absorbants n'amènent aucun changement de couleur; ce n'est que bien longtemps après qu'il rappelle de vive voix ces résultats au sein de la Société philosophique de Cambridge, et que M. Whewell les publie dans son Histoire des sciences, en cachant le nom de M. Airy, sous cette dénomination vague : *d'autres expérimentateurs ont nié....* Cette réfutation anonyme de ses recherches, jointe au reproche qu'on lui fait d'avoir prétendu que les expériences de Newton ne prouvaient rien, indispose grandement M. Brewster. Il assure que la décomposition du spectre par le prisme de Newton a toujours été à ses yeux une grande découverte, que ses expériences ne détruisaient en aucune manière la décomposition du spectre en sept couleurs douées de réfrangibilités inégales, etc. Il a seulement dit que Newton avait commis une erreur, si tant est qu'on puisse se servir du mot erreur, en affirmant qu'une même réfrangibilité appartient toujours à la même couleur.

Digitized by Google

C'est la première fois, s'écrie M. Brewster, que l'on a le triste courage de livrer au monde des souvenirs d'expérience ; cela serait tout au plus pardonnable à un vieux physicien, au visage hâve et à la main trémblante... On était d'autant moins en droit de publier ces souvenirs qu'ils aboutissent à une conclusion purement négative, et que celui qui se permet de les divulguer affirme n'avoir pas la mémoire des couleurs... Puis, après des plaisanteries peu spirituelles sur le marchand de verre, le chimiste et le sommelier de M. Airy, arrive cette péroraison éloquente : M. Herschel et moi nous avons nettement vu que la qualité des couleurs était changée ; M. Airy le nie : qu'on choisisse entre les deux affirmations et la négation.

M. Airy n'aurait-il pas commis une faute en substituant un écran de papier à l'œil ; et n'est-ce pas pour cela qu'il n'aurait pas aperçu des différences que l'on voit forcément, à moins d'être tout à fait aveugle ?

M. Brewster, en finissant, nous apprend une bonne nouvelle : « Dans une série, dit-il, d'expériences qui ne sont pas encore publiées, j'ai obtenu des effets semblables en employant les interférences des rayons lumineux à travers des milieux parfaitément incolores et analysés à l'aide du prisme. »

Observations sur l'analyse du spectre par absorption, par sir David BREWSTER. *Réponse à M.* DRAPER.

« Dans un mémoire sur la production de la lumière et de la chaleur, M. Draper a fait quelques remarques critiques sur mon analyse du spectre solaire, et je ne puis les laisser sans réponse. Il prétend que si j'ai vu le rouge, le jaune et le bleu, et par conséquent la lumière blanche existante dans toute l'étendue du spectre, cela tient uniquement à la non-coïncidence et à l'empiétement des couleurs des divers spectres formés sur un écran qui passe près des bords et près de la base d'un prisme ayant une surface réfringente assez grande. Dans un semblable spectre, dit-il, il doit y avoir nécessairement mélange des divers rayons : mais n'est-on pas en droit de se demander si la même chose se produirait avec un élément de prisme, ou si on recouvrait d'un écran la face intérieure du prisme, de manière à ne

Digitized by Google

laisser à découvert qu'une tranche du prisme infiniment petite et parallèle à son axe? aurait-on alors encore un spectre réunissant en chacun de ses points toutes les couleurs, comme dans l'expérience originale de sir David Brewster?

» Comme mes expériences, répond le savant physicien écossais, n'ont pas été faites avec des spectres formés sur un écran par des prismes ayant une large surface, elles ne seraient pas sujettes aux critiques de M. Draper, alors même que ces critiques seraient fondées. Les spectres dont je me suis servi étaient si purs et si exempts de tout mélange, que les raies de Fraunhofer apparaissaient parfaitement visibles, et les résultats sont les mêmes quand la surface réfringente est réduite aux plus petites dimensions possibles.

» Mon analyse du spectre par l'absorption, par conséquent, ne contredit pas seulement le principe : qu'une couleur particulière ou déterminée appartient toujours à une longueur d'onde aussi déterminée, et réciproquement que chaque couleur particulière correspond à une même longueur d'onde, mais elle attaque directement et renverse complétement le principe de Newton. »

V. *Observations sur les couleurs élémentaires du spectre, en réponse à M.* MELLONI, *par sir* DAVID BREWSTER.

« Ce n'est qu'avec une grande répugnance que je viens répondre à la critique de mon analyse du spectre par M. Melloni. Si cette critique provenait d'un physicien obscur, je me serais borné aux observations que j'ai faites en réponse aux observations analogues de M. Draper; mais l'estime si grande et si bien méritée dont jouit M. Melloni, et la confiance extrême avec laquelle il présente ses conclusions, me mettent dans la nécessité de ne pas me borner à dire qu'elles ne sont nullement sérieuses, ou que je ne veux avoir rien à faire avec des discussions qui tendent à renverser mon système, alors même qu'elles seraient fondées en raison.

» M. Melloni affirme qu'il a répété mon expérience fondamentale, qui consiste, comme il le dit, à placer entre l'œil et le spectre un verre de couleur bleue foncée de cobalt, etc. Il décrit ensuite les phénomènes avec un spectre formé par la lumière d'une ouverture circulaire de 10 mill. ou de 4/10 de pouce de diamètre, avec un

Digitized by Google

prisme équilatéral placé dans la position du minimum de déviation. Mais jamais je n'ai fait cette expérience, et jamais je n'aurais songé à la faire avec un spectre ainsi formé.

» Le spectre décrit par M. Fraunhofer provenait d'une ouverture d'un 50e de pouce de largeur ; Wollaston employait une ouverture d'un 20e de pouce, tandis que M. Melloni s'est servi d'une ouverture vingt fois plus grande que celle de Fraunhofer et huit fois plus grande que celle de Wollaston ! Avec cette ouverture, la séparation des couleurs devait être beaucoup plus imparfaite que dans les spectres de Fraunhofer et de Wollaston et le mien ; les rayons rouges et jaunes devaient pénétrer, comme M. Melloni l'a observé, dans l'orangé. Parce que cet empiétement des rayons n'avait pas lieu quand on faisait usage d'une bande étroite du prisme, c'est-à-dire, quand on produisait un spectre élémentaire, ainsi que M. Melloni l'appelle, il en conclut que mes résultats proviennent de l'emploi d'un prisme à très-grande surface et d'un spectre multiple. J'aurais honte d'une expérience semblable, et, pour tout au monde, je n'aurais jamais employé un spectre et une ouverture semblables au spectre et à l'ouverture de M. Melloni. Je suis même en droit de lui reprocher de n'avoir pas su tenir compte du temps que j'ai sacrifié, de la peine que je me suis donnée pour faire mes expériences, et du soin avec lequel elles furent exécutées.

» Craignant, avec raison, que l'élargissement de la pupille et l'imperfection de vision qui en résulte n'eussent exercé une fâcheuse influence sur les résultats de ses recherches, M. Melloni répète l'expérience, qu'il appelle la mienne, mais que je ne reconnais pas comme telle, avec une ouverture carrée au lieu d'une ouverture circulaire. Que diraient Fraunhofer, Wollaston et Young d'un spectre produit par une ouverture carrée, inscrite dans un cercle de 0,4 pouces de diamètre ? Mais laissons là ces objections, et examinons l'expérience en elle-même. Il dit, un peu plus loin, qu'il voyait un rectangle rouge, presque carré, suivi d'une zone large et sombre, puis un rectangle de jaune vif, dont le plus grand côté était parallèle à la longueur du spectre ; venait ensuite une couleur foncée, indistincte, et enfin le bleu. Le rectangle jaune était moins allongé dans la direction horizontale quand on avait recours au spectre élémentaire ou formé par le prisme étroit, d'où M. Melloni conclut que le prolongement le plus grand dans le spectre primitif provenait d'un empiétement des

Digitized by Google

rayons, produit par le prisme à large surface, et non d'une vision imparfaite, puisqu'il n'y avait aucun épanouissement dans la direction perpendiculaire. Il admet donc comme certain que j'ai employé un prisme à large surface, et il en tire la conséquence que j'ai étudié un spectre dans lequel les couleurs empiétaient l'une sur l'autre. Je nie cette supposition aussi bien que ses conséquences.

» Alors même que l'on admettrait que l'épanouissement longitudinal des rectangles colorés dans les expériences de M. Melloni soit un fait réel, je l'attribuerais principalement à la largeur de l'ouverture et à l'irradiation ; peut-être aussi qu'il dérive de l'imperfection de la vision ou du nombre extraordinaire des filaments qui nagent dans l'humeur vitrée de son œil.

» Dans la description de la couleur de son spectre, après les changements produits par l'absorption, il parle d'un rectangle rouge, puis d'une couleur sombre, et enfin du bleu. Mais nous lui demanderons ce qu'il entend par sa couleur sombre ? Est-ce du jaune, du vert ou un vert jaunâtre ? C'est nécessairement une de ces couleurs. Si c'est un vert jaunâtre ou un jaune verdâtre, alors les rayons verts ou jaunes dont cette couleur se compose doivent avoir la réfrangibilité que je leur ai attribuée. Si c'est le jaune ou le vert, pourquoi ne pas le dire ? Sans aucun doute cette couleur sombre n'était ni jaune ni verte. Nous croyons, ou plutôt nous supposons (car nous ne connaissons pas l'espèce de verre qu'il a employé) que c'est un gris, c'est-à-dire un blanc sale, composé de lumière rouge, bleue et jaune, dans une proportion impropre à donner la lumière blanche.

» Mais nous admettrons, pour continuer notre argumentation, que les expériences de notre auteur sont parfaitement exactes, et que, dans son spectre, il y avait empiétement de couleurs. Cette supposition ne saurait nuire en aucune manière à mon analyse du spectre. Assurément, ni M. Melloni, ni M. Draper, n'ont lu le texte original de mon mémoire dans les *Transactions d'Édimbourg*. Savent-ils que j'ai fait apparaître une large bande de lumière blanche dans la partie la plus claire du spectre ? Savent-ils que je l'ai fait apparaître dans des spectres qui étaient partagés, par interférences, en portions sombres et brillantes, où nul rayon latéral ne pouvait pénétrer dans la portion soumise à l'absorption ? Savent-ils que j'ai trouvé de la lumière verte fort près de la ligne C de Fraunhofer, et manifestement au sein de l'espace rouge ? Ont-ils répété ces expériences, et

Digitized by Google

sont-ils en possession d'un appareil propre à les répéter? Je ne le crois pas; et je suis convaincu, hélas! qu'aucun des physiciens de nos jours n'a répété les expériences décrites dans le mémoire que je viens de rappeler.

» Quoique je n'aie nullement envie de chercher des raisons nouvelles à l'appui de mon opinion, que je regarde comme parfaitement fondée, je vais cependant énumérer quelques faits observés par d'autres, et qui sont de nature à modifier le jugement de ceux qui ne savent ni ne veulent examiner expérimentalement eux-mêmes le sujet en question.

» Wollaston, dans son analyse élégante du spectre, formé par la lumière du ciel avec une ouverture de 0,05 pouc. de diamètre, n'a trouvé que quatre couleurs : le rouge, le vert jaunâtre, le bleu et le violet. Il ne voyait pas de jaune. Thomas Young nous apprend « qu'il a répété l'expérience intéressante de Wollaston avec un plein succès. » Il appelle la description du spectre de Wollaston « la correction de la description du spectre », et modifie ses premières vues théoriques, en remplaçant, là où il parle des couleurs qui forment la partie moins réfrangible du spectre, le rouge, l'orangé et le jaune, par le rouge et le vert. A un autre endroit, où il parle des observations de Wollaston, Young fait cette remarque : « Wollaston a fixé la répartition des couleurs dans le spectre d'une manière beaucoup plus précise qu'on ne l'avait fait avant lui. » Le spectre, tel qu'il le produit, ne se compose que de quatre couleurs : du rouge, du vert, du bleu et du violet..... Vers leurs limites respectives, les couleurs diffèrent à peine en qualité; mais elles diffèrent en clarté, puisque la plus grande intensité de la lumière se trouve dans la partie du vert, qui est la plus près du rouge.

» Voilà la composition du spectre de la lumière du jour ou de la lumière du ciel bleu. L'espace jaune n'y existe pas. Mais, dans le spectre solaire, on retrouve évidemment une espace jaune d'une largeur considérable entre l'espace rouge et l'espace vert, comme cela résulte clairement du beau dessin de Fraunhofer. Qu'est donc devenu l'espace jaune du spectre de la lumière diffuse? Une partie a été absorbée par la réflexion du ciel ou des nuages, et la lumière jaune a été ainsi réduite à de la lumière verte. La portion absorbée est une portion de lumière rouge, parce qu'on démontre, ainsi que l'ont fait Wollaston et Young, que le rouge et le vert font ensemble le jaune.

Digitized by Google

Or, cet espace jaune du spectre solaire, et l'espace devenu jaune verdâtre dans le spectre de la lumière diffuse, peut être ramené de son état vert au jaune, au jaune blanchâtre et au blanc, par l'emploi de différents absorbants. Il résulte des observations de Fraunhofer, de Wollaston et d'Young, que la qualité des couleurs dans la partie la plus claire du spectre peut varier en passant du jaune au jaune verdâtre, ou, d'après Young, au vert. Et il résulte de mes observations, ou seules ou combinées avec les observations des autres, que, dans une même partie du spectre, il existe des rayons rouges, jaunes et bleus, ayant exactement la même réfrangibilité.

» Puisqu'il paraît que M. Melloni n'a pas lu ma réponse à l'astronome royal, je veux seulement signaler à son attention les expériences de sir John Herschel, qui y sont contenues et qui confirment mon analyse du spectre. Il est clairement prouvé, par une expérience accidentelle de William Herschel, que la qualité de la couleur de l'espace rouge ou orangé est modifiée par l'absorption. Celui-ci a trouvé que du laiton, dressé et poli au tour, transformait par réflexion les rayons rouges en rayons orangés, différents de ce qu'ils devaient être.

» Fort des expériences et des observations de physiciens aussi éminents que Wollaston, Young, William Herschel et John Herschel, je reste convaincu que mon analyse du sceptre solaire sera confirmée par les observateurs futurs, s'ils veulent bien répéter mes expériences avec les mêmes soins et sans trop d'attachement à leurs propres idées. »

Que conclure de cette ardente controverse ?

D'abord, que l'on a pris un mauvais chemin pour arriver à la manifestation de la vérité, et la preuve, c'est qu'on n'arrive pas à s'entendre; puis, que le système de sir David Brewster est vraiment inadmissible, en outre de ce qu'il n'est pas démontré. Nos premiers arguments n'ont rien perdu de leur valeur : 1° rien dans le système de M. Brewster n'est défini, et les mots: blanc, rouge, jaune, bleu, etc., n'ont aucune signification précise; 2° M. Brewster, de prime abord, trouve lui-même une teinte verdâtre au prétendu blanc indécomposable par le prisme qu'il a fait apparaître dans les espaces vert et rouge; ce n'était pas du blanc pur; 3° l'absorption est un mode d'analyse essentiellement mauvais, et dont on ne peut rien conclure, car rien ne prouve que les couleurs restantes soient réellement des parties ou fractions de la lumière primitive simplement tamisée;

Digitized by Google

4° au point de vue de la philosophie de la science, ou de la théorie, cette supposition gratuite de trois spectres superposés pour former un spectre unique n'est appuyée d'aucune raison tant soit peu probable.

Mais il est un fait incontestable et éclatant qui rend impossible toute croyance même très-faible à l'hypothèse de M. Brewster, et qui semble prouver, jusqu'à l'évidence, que la différence de couleur est essentiellement liée à une différence de réfrangibilité. En étudiant attentivement à l'aide d'une loupe ou d'une lunette les spectres obtenus de la lumière des étoiles, de l'électricité de l'arc lumineux de la pile, de tous les métaux brûlés entre les deux pointes de charbon, etc., etc., on voit apparaître des raies brillantes de toutes les couleurs possibles : il y en a de rouges, d'orangées, de jaunes, de vertes, de bleues, de violettes, etc., etc.; leur éclat est quelquefois extrêmement vif. M. Foucault, par exemple, a aperçu le premier, dans le spectre résultant de la combustion du cuivre et de l'argent, une raie verte dont l'intensité lumineuse surpasse celle de toutes les lumières homogènes connues : or, chose extraordinaire, ces raies brillantes et colorées apparaissent toujours au sein de la couleur ou de la zone du spectre dont leur nuance les rapproche; les raies rouges, orangées, jaunes, vertes, etc., se montrent constamment, et sans exception, dans les espaces rouges, orangés, jaunes, etc., etc., jamais ailleurs. Si cependant il y avait du vert, par exemple, sur toute l'étendue du spectre, comment se ferait-il qu'au moins dans un cas particulier, pour une certaine substance, ce vert ne fût pas exalté de manière à briller sous forme de raie verte au sein du rouge, du violet ou d'un espace coloré autre que le vert? Pour nous, ce fait et ce raisonnement ne laissent pas même lieu au doute : M. Foucault est de cet avis; il avait même exprimé cette conclusion avant nous. Il nous tarde de savoir comment M. Brewster pourra échapper à cette difficulté, et s'il ne rendra pas enfin les armes.

Nous reviendrons encore bientôt sur ce point capital, quand nous aurons enregistré les travaux qui ont eu pour objet l'étude des raies naturelles et des raies accidentelles du spectre.

Une singulière illusion a fait croire un instant à l'existence d'une grande découverte analogue et comparable à celle de Wollaston et de Fraunhofer. M. Zantedeschi, professeur à l'université de Pavie, an-

Digitized by Google

nonça tout à coup au monde savant, qu'il voyait distinctement, dans le spectre solaire, des raies longitudinales ou perpendiculaires aux raies transversales de Wollaston et Fraunhofer, raies qui avaient échappé à l'œil perçant et aux si excellents appareils du savant opticien bavarois. A peine ses premières observations étaient-elles terminées, que M. Zantedeschi se hâta de les publier dans un beau volume digne de l'art incomparable des Boldoni, et qu'il adressa à toutes les académies. D'un autre côté, M. Wartman s'empressa d'extraire de son registre de laboratoire le récit d'une expérience faite par lui en 1840, et qui lui avait révélé cette même existence des raies longitudinales ; il croyait avoir quelques droits à la priorité de la découverte qui rendait M. Zantedeschi si heureux. Ces droits de priorité ne sont point fondés, puisque M. Wartman n'a publié les extraits de son journal qu'après l'apparition du beau volume de M. Zantedeschi; mais nous n'avons pas à les discuter, surtout après l'issue malheureuse de cette publication. Comme le petit mémoire de M. Wartman renferme ce qu'il y a de plus essentiel dans le volume italien, les conclusions de M. Zantedeschi, nous laisserons au physicien genevois à révéler le grand secret.

Sur de nouvelles raies visibles dans le spectre solaire, par M. ELIE WARTMAN.

« Je m'occupai, en 1840, de faire une série d'expériences sur le spectre au moyen d'un excellent prisme de flint, le dernier que laissa l'illustre opticien bavarois. Ces essais me conduisirent à divers résultats que je communiquai à mes élèves et montrai à quelques amateurs ; mais je désirais en augmenter le nombre avant de les publier dans leur ensemble. Aujourd'hui, les appareils que j'employais n'étant plus à ma disposition, il devient inutile de différer davantage. On me permettra de consigner ici, malgré leur imperfection, quelques détails que je crois nouveaux. Je les extraits sommairement de mon registre de laboratoire, à la date d'avril et de mai 1841 :

« L'auditoire de physique de l'académie, à Lausanne, étant converti en chambre obscure, on y fait pénétrer, à travers une fente

Digitized by Google

verticale de $0^m,8$ de largeur, un faisceau de lumière solaire, projeté par un porte-lumière étamé ou noirci. Ce faisceau se réfracte dans le prisme de Fraunhofer, disposé verticalement à 8 mètres de distance. Immédiatement derrière cet instrument se trouve un théodolite achromatique de $0^m,04$ d'ouverture, fabriqué à Aarau, ou un chercheur de comètes de Cauchoix, grossissant sept fois, avec une distance focale de $0^m,66$, et un objectif dont le diamètre mesure $0^m,069$. Le prisme, dont l'angle réfringent est de $45°4'20''$, est placé dans la position du minimum de déviation.

» J'ai ainsi découvert dans le champ lumineux du spectre projeté horizontalement un grand nombre de lignes droites *longitudinales*, plus épaisses les unes que les autres, parallèles entre elles et à sa longueur. Elles sont donc perpendiculaires aux raies transversales déjà connues. On les aperçoit avant que le tirage de la lunette ait atteint le développement nécessaire pour la vision très-distincte de celles-ci. Je ne suis parvenu que rarement à voir à la fois les deux systèmes. Ces lignes longitudinales ne proviennent pas d'une impureté dans le prisme ou dans les verres de la lunette, car elles se montrent les mêmes avec d'autres appareils réfringents. On ne peut pas davantage les attribuer à des inégalités dans les bords rectilignes de l'ouverture, ni à un état imparfait de la surface du miroir ; mais leur aspect général dépend de la grandeur de l'ouverture, de la distance et de la position du prisme, de l'état de l'atmosphère, de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon, et de l'heure de l'observation. Il m'a paru que souvent plusieurs se déplacent et s'éloignent, comme si la transparence de l'air avait changé d'une manière subite. En faisant varier la distance de l'oculaire à l'objectif, elles se transforment partiellement, sinon toutes, de noires en lumineuses, et *vice versâ*. Les apparences dont je viens de constater l'existence n'ayant pas la fixité et les caractères distinctifs des lignes figurées par Fraunhofer, doivent être attribuées à des causes différentes.

» Les raies longitudinales, examinées à l'aide d'un très-bon prisme équilatéral de Soleil, se montrent en général d'autant plus visibles que l'ouverture est plus grande. La forme circulaire ou rectangulaire de celle-ci est indifférente. En supprimant le miroir extérieur et se servant de lumière directe, on voit les lignes varier en nombre et en position, suivant que l'œil nu, placé immédiatement contre le prisme,

Digitized by Google

se meut parallèlement à ses arêtes verticales. Ces apparences sont dues à l'interférence des rayons centraux avec ceux qui se réfléchissent contre les bords de l'ouverture. Elles disparaissent quand toute réflexion est rendue impossible dans celle-ci comme dans le prisme, et que l'axe de l'œil ou de la lunette est convenablement dirigé. Elles ne changent point lorsqu'on substitue la lumière d'une lampe à celle des nuées ou du soleil, ni quand on interpose des milieux colorés sur la route des rayons avant ou après leur dispersion. Enfin elles peuvent être produites à volonté, en disposant un ou deux miroirs placés près des extrémités de l'ouverture pratiquée dans le volet, et en les inclinant sur l'horizontale de quantités variables et telles que l'image brillante qu'ils renvoient engendre un spectre qui se superpose en partie à celui des rayons directs. Cette expérience me paraît même mériter d'être faite dans les cours académiques, comme une variété de celle des deux miroirs de Fresnel. Elle est bien plus aisée, n'exige aucun appareil délicat ou coûteux, et s'étend d'une manière simultanée à toutes les zones monochromatiques du spectre.

» Comme la bande de lumière qui est admise dans le prisme provient de diverses parties du ciel, il est facile de se rendre compte des transformations d'aspect des lignes longitudinales suivant le degré de transparence de l'atmosphère. Les modifications que ce système subit avec les changements d'illumination extérieure s'expliquent par l'inégale répartition de l'éclairement diurne qui, pour un même éclat de sérénité plus ou moins complète de l'air, varie avec la distance du soleil au méridien.

» Ces lignes d'interférence n'ont été mentionnées par aucun auteur, du moins autant que je puis m'en assurer.

» En 1844, M. Ad. Erman paraît avoir entrevu le phénomène que j'avais découvert; mais il l'attribua *aux défectuosités accidentelles des vases* qu'il employait, et ne lui accorda aucune attention. Ce n'est qu'assez récemment que les raies horizontales sont devenues le sujet de recherches suivies de la part de deux physiciens placés dans des lieux singulièrement favorables aux travaux d'optique, M. Zantedeschi à Venise, et M. Ragona-Scina en Sicile.

» M. Zantedeschi a publié les résultats de ses expériences dans un volume spécial qui n'a pas encore été analysé en France. Cet ouvrage n'ayant été tiré qu'à cent exemplaires, il ne sera pas hors

Digitized by Google

de propos d'en rapporter ici les conclusions, qui confirment les miennes sur presque tous les points.

» L'apparition des lignes du spectre solaire est en relation nécessaire avec la petitesse de l'ouverture du porte-lumière et avec l'intervalle qui la sépare du prisme. A une distance constante, les lignes transversales se montrent avec la plus large ouverture, les longitudinales avec la plus petite, et les deux systèmes avec la moyenne. A ouverture constante, les lignes verticales appartiennent à la plus grande distance, les horizontales à la plus petite, et le double système à la moyenne. L'angle d'incidence, pour les lignes transversales seules, est un peu plus grand que celui qui donne une vision distincte des longitudinales seules. La disposition des lignes longitudinales varie avec la distance du prisme à l'ouverture du porte-lumière. Les premières lignes, tant transversales que longitudinales, qui commencent à se montrer dans le champ du spectre solaire, sont celles qui, dans l'ensemble du système, sont les plus intenses et les plus larges. Dans chaque système, le foyer des lignes varie avec la grandeur de l'ouverture. L'intensité des lignes lumineuses, dans chacun des trois systèmes, est plus grande que celle du reste du champ du spectre solaire; c'est ce que Fraunhofer avait découvert pour les lignes transversales. L'état de l'atmosphère modifie la distance focale des lignes, tant longitudinales que transversales. A chaque système de lignes correspond une ouverture qui est la meilleure pour qu'il soit projeté le plus distinctement.

» Fraunhofer rapporte la cause des lignes noires à la nature de la lumière; pour lui, le spectre a été un moyen de vérification de l'identité ou de la diversité des lumières émanées de diverses sources. Herschel en voit l'origine dans l'absence réelle de rayons lumineux, soit dans l'acte de leur développement, soit par absorption dans les milieux qu'ils doivent franchir. Cette opinion est à très-peu près celle de Brewster et d'Erman. Le premier pense que les rayons qui font défaut sont absorbés par les gaz produits dans la combustion même qui engendre la lumière, ou qu'ils le sont par les milieux à travers lesquels ils doivent passer. Le second est d'avis que le milieu traversé par le rayon lumineux le sépare en deux ou en plusieurs parties, dont chacune est retardée d'une manière différente; c'est pourquoi il distingue l'interférence en simple et en double.

Digitized by Google

» Toutes ces opinions me paraissent défectueuses, quoique toutes semblent avoir un côté vrai. Fraunhofer rapporte tout le phénomène à la seule nature du rayon lumineux, Herschel, Brewster et Erman à la simple influence des milieux divers interposés. Mais, dans ces phénomènes, l'appareil lui-même qui sert à l'expérience joue un rôle important.... C'est un fait maintenant bien démontré, que les apparences du spectre varient avec la grandeur de l'ouverture et l'intervalle qui la sépare du prisme, la nature et les dimensions de celui-ci, et sa distance à l'écran. L'ensemble de ces circonstances me conduit nécessairement à admettre que les apparences du spectre lumineux sont produites par la différente distribution des rayons, causée par les divers milieux qu'ils doivent franchir. La lumière monochromatique des spectres latéraux, la production de lignes si différentes par la simple variation de la distance de projection, la transformation des systèmes de lignes en des formes si variées, par l'altération de grandeur de l'ouverture du porte-lumière, l'accroissement de teintes des lignes obscures et le renforcement des lumineuses, sont pour moi autant de preuves évidentes de variations dans la réflexion, la réfraction et la dispersion de la lumière. Je ne veux pas, par là, nier, mais seulement mettre en évidence que ces deux actes, tels qu'on les considère dans le système des ondes, ne sont pas les vraies causes qu'aucun rayon ne soit éteint par absorption ou par interférence suffisantes à produire les phénomènes du spectre lumineux. Ce ne peut être l'absorption; car, si les lignes noires sont en effet engendrées par des rayons absorbés, et non par des rayons diversement distribués, il est impossible que l'augmentation ou le décroissement des teintes noires soit toujours accompagné d'une variation analogue dans l'intensité des lignes lumineuses, et l'épaississement ou l'atténuation des lignes noires toujours de grossissement ou d'amoindrissement des lignes lumineuses. Les grands systèmes de lignes obscures, produits par le gaz nitreux et par les vapeurs d'iode, sont traversés dans leur milieu par une zone de lumière très-vive, large de trois à quatre millimètres. Les systèmes de lignes uniformes et excessivement fines offrent une lumière tranquille, qui est répandue également dans toute la hauteur du spectre, de manière à ne point être remarquée par un œil qui n'est pas habitué à de pareilles recherches. Ce ne peut être l'interférence, car, dans l'espace ou dans

Digitized by Google

la ligne même où devraient se rencontrer des rayons qui augmenteraient toujours l'intensité de la lumière, celle-ci se présente encore diminuée ou éteinte; les lignes sont tantôt lumineuses et blanches, tantôt colorées, tantôt d'un noir plus ou moins parfait. J'ai vérifié ce phénomène *des centaines de fois*. Il abat et détruit dans ses fondements la doctrine de l'interférence, ainsi que je le démontrerai dans un autre écrit destiné à faire connaître la suite de mes observations.

» J'ai dit que le spectre solaire est le photoscope le plus exquis que possède la science actuellement. Voici quelques effets à l'appui de cette proposition. Devant l'ouverture du porte-lumière, large de deux millimètres, j'ai placé une bouteille de cristal blanc le plus pur, à parois parallèles. Aucune ligne ne se montrait dans le spectre solaire sur l'écran placé à $2^m,39$ du prisme. La bouteille était à $0^m,1$ de celui-ci, et la projection du spectre était longue de $0^m,16$, et haute de $0^m,55$. Je dois encore noter que les parois planes de la bouteille étaient épaisses de $0^m,005$ et à $0^m,003$ de distance l'une de l'autre. J'y introduisis quelques lamelles d'iode, que je fis passer lentement à l'état de vapeur. La bouteille était placée sur du sable, et on l'échauffait à l'aide de charbons ardents disposés sous une lame de fer qui la soutenait ainsi que le sable. Dès que la vaporisation de l'iode eut commencé, on vit paraître dans le champ du spectre des lignes excessivement ténues et mal définies. En augmentant la quantité de vapeurs, ce spectre se montra parsemé de milliers de lignes noires longitudinales d'une excessive finesse; peu à peu elles se réunirent en système de grosses et de petites, accompagnées de quelques-unes qui étaient lumineuses, et enfin elles se partagèrent en deux systèmes excessivement noirs, l'un supérieur, l'autre inférieur, séparés par une zone d'une intense lumière, large de $0^m,005$. Après qu'on eut éteint le feu, la vapeur d'iode retourna peu à peu à l'état solide, et les deux systèmes noirs se subdivisèrent aussi bien que la bande lumineuse. J'ai observé des phénomènes tout semblables avec le gaz nitreux. C'est un merveilleux spectacle que de voir des milliers de lignes longitudinales se mouvoir constamment par les variations de température.... Je me suis ainsi convaincu de l'existence des deux faits suivants :

» 1° Le mouvement intérieur des vapeurs, ainsi que celui de trans-

Digitized by Google

lation du vase, produisent une variété indescriptible dans la distribution des lignes noires et lumineuses; 2° la raréfaction du gaz cause une subdivision des lignes noires, la condensation réunit ou grossit ces lignes. Tout ceci est en parfaite harmonie avec les variations produites par l'atmosphère. Lorsqu'un voile subtil de vapeur, suspendu dans les régions supérieures, ne fait qu'adoucir l'intensité de notre ciel, le spectre offre dans son champ des lignes longitudinales d'une excessive finesse, tellement que l'œil non prévenu de leur existence ne sait les apercevoir. Les deux lignes marquées *q* dans ma figure ont présenté plusieurs fois le phénomène de leur séparation et de leur réunion, accompagné de l'apparition ou de la disparition successive d'une ligne lumineuse interposée. Il en a été de même pour d'autres lignes. Ces variations ont été observées pendant plus de dix jours, durant lesquels l'état de l'atmosphère a constamment varié, et j'ai toujours aussi reconnu des changements dans la distance focale.

» La publication de M. Zantedeschi a engagé M. le professeur Ragona-Scina, de Palerme, à étendre ce nouveau champ d'exploration. Voici quelques-uns des principaux résultats qu'il vient de faire connaître. On peut, en plaçant contre un prisme éclairé par une fente de $0^m,033$ une petite lunette de Galilée, apercevoir les raies horizontales et verticales. Les principales d'entre elles sont même visibles à l'œil nu. Elles existent entièrement dans les spectres ordinaire et extraordinaire que produit un corps biréfringent. Les raies horizontales peuvent s'obtenir sans l'aide d'un prisme, en examinant obliquement à travers une lentille biconcave l'intervalle demeuré clair entre les deux volets d'une croisée rapprochée jusqu'à un décimètre. Enfin, le système des lignes horizontales est soumis à un retour périodique horaire, tandis que celui des lignes de Fraunhofer est parfaitement fixe. Cette assertion est contraire à celle de M. Zantedeschi.

» M. Ragona cherche à expliquer les lignes de Fraunhofer, en les attribuant à l'empiétement des quatre couleurs simples, rouge, jaune, bleu et vert. M. Zantedeschi s'est hâté de se ranger à cette opinion, et d'expliquer aussi *ses* lignes longitudinales *par l'influence réciproque* des rayons lumineux. La preuve en est, suivant lui, dans leur apparition d'autant plus distincte, que le spectre est plus étroit e plus long, tandis que les conditions contraires favorisent la visibilité

Digitized by Google

des raies transversales. Tout étrange que puisse sembler la théorie de M. Ragona, elle mérite d'être examinée; mais j'avoue que celle du professeur de Venise me paraît d'une grande obscurité. Pour expliquer les empiétements des bandes colorées dans le sens longitudinal, il faudrait admettre que le spectre est double et que ses éléments se superposent à angles droits. La trop grande brièveté de l'auteur, qui se borne à la phrase précitée, ne permet pas de penser que telle soit sa manière de voir. De plus, ces raies, bien loin de constituer un fait hostile à la théorie des ondulations, en sont, au contraire, une intéressante confirmation. »

L'annonce enthousiaste de MM. Zantedeschi et Wartman causa quelque surprise, mais l'illusion ne fut partagée par personne de notre connaissance au moins. L'habileté de Fraunhofer est un fait trop bien établi pour qu'un homme sérieux puisse croire un instant que le phénomène des raies longitudinales ait pu lui échapper, s'il avait été autre chose qu'un accident dû aux imperfections de l'appareil. La première note importante sur ce sujet est due à la plume d'un observateur judicieux et exercé, M. Knoblauch ; la voici :

Des raies longitudinales dans le spectre solaire,
par M. KNOBLAUCH.

Les raies perpendiculaires aux raies de Fraunhofer, qui se montrent dans le spectre solaire et qui ressortent avec beaucoup plus de netteté quand on place une lentille derrière le prisme, ont été déjà l'objet des recherches spéciales et assez attentives de MM. Zantedeschi, Ragona-Scina et Wartmann.

Il résulte de ces observations que le nombre et la netteté de ces raies dépendent :

1° De la largeur de la fente à travers laquelle les rayons pénètrent dans la chambre obscure ;

2° De la distance et de la position du prisme par rapport à la fente et à la lentille ;

3° De la place du soleil dans le ciel et des conditions de l'atmosphère durant les observations.

Si l'on pouvait se fier aux expériences faites jusqu'ici, la nature de

Digitized by Google

la fente et du prisme n'exercerait aucune influence sur les lignes en question.

Les divers observateurs donnent de ce phénomène des explications très-différentes. M. Zantedeschi l'attribua d'abord à la variabilité de la réflexion, de la réfraction, de la dispersion, ou à une inflexion des rayons solaires ; plus tard, il recourut à l'influence mutuelle des différentes couleurs, combinée avec une influence atmosphérique.

M. Wartmann la considère comme un phénomène d'interférence, produit par la réflexion.

MM. Knoblauch et Karsten ont répété en commun une partie de ces expériences. Ils firent pénétrer un rayon solaire, réfléchi par le miroir d'un héliostat, à travers une fente, dans une chambre obscure, et l'analysèrent au moyen d'un prisme derrière lequel ils avaient placé un objectif de Dollond, dont la distance focale était de 4,5 pieds, et ils observèrent l'image colorée ou le spectre produit de cette manière, en le projetant sur un écran ou tableau blanc mobile.

Ils retrouvèrent, de cette manière, les résultats obtenus par leurs prédécesseurs, à l'exception de ceux qui avaient rapport à la nature de la fente. En effet, ils reconnurent, d'une manière très-certaine, que la qualité des bords de la fente exerçait une grande influence sur les raies en question. — Pour ne pas être induits en erreur par d'autres apparences étrangères, ils firent passer des rayons directs de lumière solaire, sans l'emploi du miroir et par un ciel très-serein, à travers des fentes formées tour à tour de métaux, de bois, de papier, de suie, et d'autres substances prises à différents degrés de rudesse. Chaque fois, ils reconnurent en outre des lignes constantes de Fraunhofer, les raies longitudinales qui les croisent, et étudièrent avec le plus grand soin les modifications qu'elles subissaient suivant le degré de poli plus ou moins grand des bords de la fente.

Cette observation détermina M. Knoblauch à chercher si la qualité du miroir qu'on employait dans les premières expériences n'exerçait pas une influence remarquable dans le phénomène en question. Il éloigna les bords et substitua au miroir diverses substances réfléchissantes, comme des métaux et des verres, ou diverses parties d'un même miroir, dont on modifiait le pouvoir réfléchissant, en les saupoudrant, plus ou moins, de poussière fine ; immédiatement *on ob-*

Digitized by Google

tenait, dans tous les cas et suivant les conditions de la surface réfléchissante, des raies longitudinales différentes, sans accompagnement des raies de Fraunhofer, qui ne se forment plus dans cette disposition de l'appareil. Par un ciel parfaitement clair, sans fente et sans miroir, il n'y avait pas la moindre trace de raies dans le spectre solaire.

Il était donc très-probable que les raies soumises à l'examen ne provenaient, dans les circonstances mentionnées, que des imperfections de l'appareil. Pour s'en assurer mieux encore, M. Knoblauch plaça la lentille, en supprimant le prisme, perpendiculairement aux rayons incidents; de cette manière, l'image de la fente et de la portion visible du miroir se dessinèrent sur l'écran dans des proportions plus grandes. La certitude avec laquelle, quand les circonstances étaient favorables, on retrouvait dans cette image les points correspondants aux raies longitudinales sombres du spectre, points qui, dans la fente, étaient des rétrécissements réels, points qui, sur le miroir, se dessinaient comme des défauts de poli ou autres, ne laissa plus dans l'esprit de M. Knoblauch l'ombre même d'un doute sur la vérité de sa première affirmation.

L'ensemble du phénomène consiste donc en ce que les rayons du soleil qui sont entrés dans la chambre par la fente verticale ont, en certains points, une intensité moindre, soit par suite de leur passage par des parties plus étroites de la fente, ce que l'on ne peut guère éviter, même avec les bords les plus tranchants, soit par suite d'une réflexion inégale sur les portions plus imparfaites du miroir.

Cette intensité moindre que le rayon porte avec lui n'appartient d'abord qu'aux points de rencontre du rayon avec la face verticale du prisme ; mais quand, par le passage à travers le prisme, le rayon s'est épanoui, les points d'intensité moindre se transforment eux-mêmes en raies plus ou moins sombres, qui traversent longitudinalement l'image colorée horizontalement épanouie.

Il est évident aussi que l'apparition de ces lignes, dont la cause essentielle est un affaiblissement de lumière, doit dépendre nécessairement de la largeur de la fente.

L'endroit où se dessinent les raies derrière la lentille est déterminé par la distance au prisme du miroir et de la fente, ainsi que par les positions relatives du prisme et de la lentille, parce que toutes ces

Digitized by Google

circonstances influent sur le degré de divergence des rayons qui arrivent à la lentille, et par conséquent aussi sur la position de leur point de concours derrière elle.

La position du soleil n'a d'influence sur le phénomène que parce qu'elle fait varier la portion du miroir qui réfléchit les rayons et les projette, à travers la fente, dans la chambre obscure, ainsi que la direction sous laquelle ces rayons rencontrent le miroir.

L'état inégal de l'atmosphère, et principalement la présence des nuages, produisent, en affaiblissant par place l'intensité des rayons, des modifications semblables à celles que nous venons de considérer.

La substance du prisme ne peut pas faire varier le nombre des raies, mais selon que son pouvoir réfringent ou dispersif est plus ou moins grand, la position des raies sur l'écran varie.

D'après ce que nous venons de dire, il est inutile de faire observer que cette position des raies sur l'écran peut s'éloigner du point où les lignes de Fraunhofer se présentent avec la plus grande netteté.

Dans la comparaison des deux groupes de raies, il faut remarquer avant tout que les raies de Fraunhofer sont formées par des rayons qui arrivent au prisme ensemble et parallèles les uns aux autres, tandis que les raies longitudinales proviennent de rayons qui, selon qu'ils appartiennent à la fente, ou au miroir, ou aux nuages, arrivent au prisme avec une divergence différente.

Ces indications suffisent pour montrer qu'en partant de ce point de vue, tous les faits connus, relatifs aux raies longitudinales, s'expliquent facilement. Du reste, M. Knoblauch ne doute pas qu'en répétant les expériences décrites par lui, chaque observateur n'arrive promptement à se convaincre pleinement que les suppositions de MM. Zantedeschi et Wartman n'ont aucun fondement, et que les raies longitudinales sont essentiellement un phénomène provoqué par les imperfections mêmes de l'appareil.

Puis vient la note si nette, si précise de notre savant ami M. Crahay, professeur de physique à l'Université catholique de Louvain.

Sur les raies longitudinales dans le spectre, note de M. CRAHAY.

« Quand on examine le spectre solaire à l'aide d'une lunette d'approche, à la manière de Fraunhofer, et que l'on fait graduellement

Digitized by Google

rétrécir la fente par laquelle la lumière diffuse est introduite dans la chambre noire, on voit souvent apparaître des bandes obscures qui s'étendent d'un bout à l'autre du spectre, à travers toutes les couleurs, en restant partout parallèles entre elles et aux bords longitudinaux du spectre. Ces bandes deviennent de plus en plus obscures à mesure que la fente est plus rétrécie. Pour les voir distinctement, il faut que la lunette soit un peu plus allongée que pour les raies de Fraunhofer. Elles sont variables en nombre et ne montrent aucune régularité, ni dans leur espacement, ni dans leur largeur.

» Dans la réalité, ce phénomène n'est dû qu'à des inégalités des bords qui forment la fente, soit aspérités laissées par le travail de la lime, soit corpuscules de poussière, etc., qui y sont attachés; pour s'en assurer, il n'y a qu'à examiner la fente à l'aide d'une loupe; on y verra les aspérités disposées dans le même ordre que le sont les bandes dans le spectre. De même, si après avoir ôté le prisme de devant l'objectif on dirige la lunette directement vers la fente, les mêmes aspérités produiront dans l'image lumineuse de celle-ci autant d'interruptions qu'il y avait de lignes longitudinales dans le spectre et arrangées de la même manière. Il va sans dire qu'on peut multiplier à volonté ces lignes en garnissant arbitrairement les bords de la fente. Toutes ces lignes disparaissent quand on enlève soigneusement toutes les inégalités de ces bords.

» Il est clair que lorsque la fente est large, les saillies dont ses bords peuvent être garnis ne diminuent pas sensiblement l'intensité de la lumière qui passe entre elles; par conséquent, le spectre doit paraître uniformément éclairé sur toute sa largeur; mais à un certain degré de rétrécissement de la fente, l'interception de la lumière par les aspérités est proportionnellement plus grande qu'aux autres endroits de l'ouverture, et il doit en résulter sur le spectre des bandes moins lumineuses que le reste.

» L'interception de la lumière aux endroits où sont déposées les aspérités est de plus en plus forte à mesure que la fente est rétrécie; de là l'obscurcissement croissant des bandes; il y en a qui se changent en lignes complétement noires, quand les aspérités viennent à obstruer la fente, celle-ci étant réduite à moins de 1/10 de millimètre.

» Les lignes ne se montrent pas nettement terminées quand la lu-

Digitized by Google

nette est disposée pour l'observation des raies de Fraunhofer; cela tient à ce que le foyer n'est pas exactement le même pour les rayons qui forment les raies et pour ceux qui émanent des bords de la fente; aussi les côtés longitudinaux du spectre ne sont pas très-distincts quand les raies de Fraunhofer se montrent nettement; de même, un mince fil métallique, adapté en travers contre la fente, ne forme une ligne bien déterminée dans le spectre que lorsqu'on allonge un peu la lunette; c'est quand cette ligne se dessine nettement qu'on voit aussi apparaître le plus distinctement celles qui peuvent être dues aux inégalités des bords. Non-seulement celles-ci, mais tout ce qui cause des variations dans l'intensité de l'éclairage, tels que les nuages, les objets éloignés situés dans la direction des rayons, produit des bandes ou des lignes longitudinales dans le spectre.

» Il ne peut être question ici d'un phénomène d'interférence : le nombre et la disposition des lignes changeraient avec la largeur de la fente, ce qui n'a aucunement lieu. Alors aussi les lignes, en passant à travers les diverses teintes, ne pourraient rester droites ni parallèles aux côtés du spectre. »

Observations sur les raies longitudinales du spectre solaire, par M. C. KÜHN, à Munich.

« A l'occasion d'une grande série de recherches et de mesures optiques faites aux mois d'août et septembre 1847, j'ai été amené à faire aussi quelques expériences sur la dépendance des lignes fixes du spectre et l'angle horaire, ainsi que sur l'apparition des raies longitudinales. Voici les résultats de ces expériences, qui coïncident en plus d'un point avec ceux obtenus par M. Knoblauch. La lumière, réfléchie par un héliostat, passait à travers une fente et tombait sur un prisme, qui se trouvait immédiatement en avant de la lunette d'un théodolite. L'instrument, placé à dix-huit pieds à peu près de la fenêtre, était porté par un pied fixe. On regardait le spectre avec la lunette.

» Les expériences commençaient ordinairement le matin vers six heures, et duraient, quand les circonstances le permettaient, jusqu'au coucher du soleil. On pouvait compter facilement de cette manière le nombre des lignes de Fraunhofer aux divers angles horaires, et je con-

Digitized by Google

sacrai plusieurs jours à cette détermination. Quoique mes expériences n'aient pas été continuées assez longtemps pour mettre en évidence la loi de dépendance cherchée des lignes avec l'angle horaire, j'ai pu constater néanmoins le fait important qu'aux diverses heures du jour le nombre des lignes fixes n'est pas le même. De même qu'en plaçant un verre rouge en avant de la fente, on voit croître le nombre des raies dans le rouge et l'orangé, de même, vers cinq heures du soir, on observait un nombre beaucoup plus grand de raies dans ces parties du spectre. De nouvelles raies apparaissaient entre A et a, a et B, et entre C et D, surtout peu avant le coucher du soleil, une demi-heure avant qu'il disparût. Les nouvelles lignes étaient entièrement invisibles durant le jour. Le phénomène était très-frappant : quand on avait observé toute la journée, sous un ciel serein, tout d'un coup, avant le coucher du soleil, on voyait se détacher ces raies singulières qui se conservaient la même position pendant plusieurs jours, ainsi que cela résulte de mesures prises avec le plus grand soin. Une lumière trop tranchante, comme le prouvent également les mesures que j'ai prises, produit beaucoup moins de raies, surtout quand la fente a quelque largeur. Du reste, je me suis pleinement convaincu, qu'entre C et E, il y a plus de raies sombres pendant l'après-midi que le matin ; le nombre des lignes n'augmentait considérablement que le soir entre A et D. C'était entre B et C, qu'à des époques et dans des circonstances différentes, le nombre des lignes variait le moins. Par un temps nébuleux, le nombre des lignes était plus grand que par un temps clair et sec ; mais par un temps nébuleux les observations étaient extrêmement difficiles. Comme résumé de mes expériences, et avec les mesures très-précises qu'il m'a été donné de prendre, j'ai tracé une représentation parfaite du spectre solaire ; je voudrais pouvoir compléter ces recherches en mettant quelques fluides sur le passage du rayon ; c'est alors seulement que je publierai mes observations.

» Quant aux raies longitudinales du spectre, M. Lamont et moi, nous les avons soumises, les 9, 10 et 11 août 1847, à un examen scrupuleux. Quand on voyait nettement les raies de Fraunhofer, les raies longitudinales ne se présentaient pas avec la même netteté. Il fallait déplacer un peu l'oculaire pour apercevoir un certain nombre de ces lignes. Nous avons constaté aussi que l'on ne voyait pas tou-

Digitized by Google

jours le même nombre de ces raies longitudinales, et que leurs positions relatives changeaient considérablement. J'en ai tiré la conséquence qu'elles n'ont pas leur source dans le rayon lumineux lui-même, ou qu'elles n'ont aucun rapport essentiel avec la lumière solaire. En effet, aussitôt que je saupoudrais la fente avec une poussière extrêmement fine, un grand nombre de ces raies longitudinales apparaissaient tout à coup, et elles disparaissaient aussitôt que la fente était parfaitement nettoyée : on ne voyait presque plus de raies.

» Après avoir ainsi constaté que le nombre des raies longitudinales dépendait de la pureté de la fente, je nettoyai à son tour, le mieux possible, le miroir de l'héliostat ; cette opération faisait disparaître presque entièrement les raies longitudinales. Mais dès que je saupoudrais le miroir, on les voyait reparaître en très-grand nombre. J'ai répété ces mêmes expériences au milieu du mois de septembre, et plus tard encore, vers la fin de ce même mois, alors que les fils de la Vierge, *herbstfaden*, en se posant sur le miroir, pouvaient donner lieu à des observations nouvelles. Les nouvelles expériences me confirmèrent dans mon opinion sur la formation des raies longitudinales. D'autres recherches seraient superflues, puisque M. Knoblauch a tout expliqué. »

J'ajouterai seulement qu'à côté des raies longitudinales ou horizontales, il y avait aussi des raies obliques qui disparurent dès que l'appareil fut parfaitement nettoyé.

Plus de doute donc, les prétendues raies longitudinales sont dues uniquement à l'imperfection des appareils. MM. Babinet, de Haldat, Foucault, Soleil, etc., tous les physiciens anglais, allemands, français, sont d'accord sur ce point; et le premier, peut-être, nous avons exprimé franchement notre incrédulité. Il aurait fallu trop de courage à M. Zantedeschi pour confesser humblement sa distraction ; il s'est réservé une porte de derrière, il veut absolument avoir découvert un nouveau phénomène physique. Tel est le but de la petite note suivante, qui va chercher dans l'action des vapeurs vésiculaires la raison de quelques-unes au moins des raies longitudinales. Nous consentons à l'insérer, en protestant contre l'opinion que l'on prête à notre vieil ami, M. de Haldat, et aux physiciens de Paris : M. Zantedeschi veut qu'ils lui aient été favorables au moins sur quelque point. Il n'en est rien.

Digitized by Google

Sur les causes des lignes longitudinales du spectre solaire, et sur les caractères de ces lignes, par M. ZANTEDESCHI.

« J'ai attribué les phénomènes des lignes longitudinales : 1° aux imperfections de l'appareil; 2° aux vapeurs qui flottent dans l'atmosphère ; 3° enfin aux interférences et à la diffraction. MM. Knoblauch, Crahay, Wartmann et Kühn, les rapportent à la première de ces causes ; M. Cavalleri, lui, ajoute la seconde. Divers physiciens de Paris, et M. de Haldat, à Nancy, pensent que quelques lignes longitudinales en sont indépendantes, et M. Cavalleri lui-même paraît soupçonner qu'il en est d'entièrement analogues à celles de Fraunhofer. Il m'a engagé courtoisement à examiner s'il n'existerait peut-être pas des lignes qui ne seraient pas dues aux causes sus-indiquées. J'ai cherché à répondre à cette invitation, et j'ai de suite distingué les lignes longitudinales produites par les imperfections de l'appareil, de celles qui proviennent des vésicules de vapeur atmosphérique. Les premières, sous une inclinaison donnée des rayons solaires, m'ont paru fixes; les secondes, d'ordinaire mobiles. Les unes et les autres m'ont présenté les caractères suivants :

1° Elles sont superposées aux lignes de Fraunhofer ;

2° Elles ont une teinte noire, tandis que les lignes de Fraunhofer ont celle de l'encre de Chine ;

3° Elles n'ont pas des bords arrêtés, précis ;

4° Elles sont irisées sur les bords.

» A leur tour, les lignes longitudinales, que je considère comme produites par interférence et par diffraction, possèdent les caractères suivants :

1° Elles sont situées au-dessous des lignes de Fraunhofer ;

2° Elles ont une teinte égale à celle de ces lignes ;

3° Leurs bords sont également arrêtés ;

4° Elles se présentent constamment non irisées, comme les transversales.

» Les expériences de M. Kühn, qui a découvert que le nombre des lignes transversales dépend de l'heure du jour, me confirment toujours davantage dans mon opinion que les raies de Fraunhofer et les raies longitudinales de la deuxième catégorie sont le résultat d'interférences et de diffraction.

Digitized by Google

Forcé aussi de battre en retraite, M. Wartman s'excuse de son mieux, et nous lance en fuyant, à la façon des Parthes, une flèche qui ne nous blessera pas.

Sur les lignes longitudinales du spectre, par M. Elie WARTMAN.

« Depuis les travaux de MM. Zantedeschi et Ragona-Scina sur ces lignes, un grand nombre de physiciens en ont fait l'objet de leurs recherches. Loin de les regarder, avec ces deux auteurs, comme produites par des causes analogues à celles qui engendrent les lignes de Fraunhofer, j'avais cherché à les expliquer par des phénomènes d'interférence. C'est donc à tort que M. Moigno, après avoir reproduit textuellement l'article de M. Knoblauch, inséré dans ce recueil, prétend que j'ai soutenu les idées de M. Zantedeschi. Je me suis assuré dès lors que le miroir dont je faisais usage dans mes expériences de l'année 1840 donnait *lui-même* naissance aux lignes que j'étudiais. Je renonce donc entièrement à la théorie que j'avais exposée, et je me range à l'avis de M. Crahay, qui attribue ces lignes longitudinales aux poussières des miroirs ou aux dentelures de la fente par laquelle on admet le rayon lumineux. Cette explication est la même que celle donnée par M. Knoblauch.

» J'ai le regret de n'avoir pas eu communication assez tôt de deux mémoires de M. le professeur G.-M. Cavalleri de Monza, sur le même sujet. Dans le premier, en date du 30 avril 1847, il montre que ces lignes ont trois causes : 1° les points saillants et les inégalités mécaniques des côtés de la fente de l'écran et du porte-miroir ; 2° les pores du miroir et les poussières qui s'y déposent ; 3° l'aspect du ciel et l'action des diverses vésicules de vapeur qui s'interposent sur la route du rayon. M. Cavalleri n'a pas été exact en disant que je n'avais fait que reproduire ce qu'avaient avancé MM. Zantedeschi et Ragona.

» M. C. Kühn, à Munich, vient d'arriver de son côté à des conclusions analogues. Il a vu, comme moi, que la netteté de vision des lignes horizontales ne correspond pas toujours au tirage de la lunette qui fait voir le mieux celles de Fraunhofer. Le même savant annonce avoir découvert que ces raies verticales fixes dépendent de l'*heure* du jour, quant à leur nombre. »

Il y a bien des contradictions dans cette petite note !

Digitized by Google

Ce sujet est désormais complétement épuisé. Nous n'avons pas besoin de faire ressortir ce qu'il y a de neuf dans le fait découvert par M. Kühn, que le nombre des raies de Fraunhofer varie avec l'angle horaire. C'est l'explication naturelle et facile des différences signalées entre les observations de Wollaston, de Fraunhofer, de sir David Brewster, etc., etc.

M. Draper, qui nous a donné d'excellentes recherches sur la production de la lumière par la combustion, a étudié plus récemment la nature de la lumière produite par l'action chimique. Cette nouvelle étude doit exciter au plus haut degré l'attention des physiciens et des chimistes. En voici l'analyse suffisamment complète, empruntée à la bibliothèque universelle de Genève.

Sur la production de la lumière par l'action chimique, mémoire de M. DRAPER.

L'auteur se pose cette question : Peut-on découvrir quelque relation entre les conditions chimiques dans lesquelles un corps brûle, et la nature de la lumière qu'il émet ? La réponse serait évidemment la base d'une théorie de la combustion. Or, M. Draper commence par démontrer, à l'aide d'une série d'expériences précises, qu'il n'y a pas de flammes monochromatiques, et que celles des vapeurs et des gaz présentent toutes les couleurs du spectre : les flammes les moins lumineuses, comme celles de l'alcohol et de l'hydrogène, laissent apercevoir des lignes de Fraunhofer dans diverses couleurs. Les essais ont porté sur les substances les plus diverses, et dont les flammes ont des teintes très-différentes, telles quel 'huile, l'alcohol, les solutions alcoholiques de sel marin, d'acide borique, de nitrate de strontiane, l'hydrogène, le cyanogène, l'hydrogène arseniqué, etc.

Les flammes de ces corps composés résultent d'actions chimiques compliquées. En étudiant la combustion d'un corps simple, tel que la houille on trouve que la réfrangibilité de la lumière émise par le corps qui brûle, croît toujours avec l'intensité de l'action chimique. Ce principe est d'une extrême importance, et peut servir à expliquer un grand nombre de phénomènes. Ainsi, chacun sait que, dans les flammes ordinaires, on distingue des portions très-diverses. A l'intérieur, la matière combustible ne brûle pas, faute d'oxygène ; à

Digitized by Google

l'extérieur, sa combustion peut être considérée comme complète entre-deux; on peut admettre une suite de couches où l'action chimique croît del'une à l'autre de ce slimites. On est alors conduit à cette conséquence, que chaque point superficiel de la flamme d'un combustible quelconque doit posséder toutes les couleurs du spectre. Si l'on pouvoit isoler une mince section horizontale de cette flamme, elle aurait l'apparence, vue à travers un prisme, d'un arc-en-ciel circulaire, avec le rouge en dedans et le violet à l'extérieur. Or, ces prévisions se réalisent facilement, non avec l'huile de lampe, dont la nature complexe empêche la netteté des résultats, mais avec l'oxyde de carbone dont le charbon n'a plus besoin, pour sa combustion complète, que d'une petite quantité d'oxygène, et avec le cyanogène, chez lequel l'azote, mis en liberté par l'acte de la combustion, met obstacle au libre accès de l'oxygène de l'air. L'action chimique est au maximum chez le premier, et voilà pourquoi sa flamme est bleue; elle est faible et empêchée dans le second, aussi sa flamme a-t-elle une teinte rouge. La présence, chez le dernier, d'un élément incombustible, détermine, dans le spectre qu'il forme, des lignes noires extrêmement remarquables, que M. Faraday a déjà fait connaître. Mais ce n'est pas tout : si le principe énoncé est vrai, la combustion de l'oxyde de carbone dans l'oxygène pur ne doit rien changer à la couleur et à l'analyse prismatique de sa flamme. Au contraire, dans les mêmes circonstances, le cyanogène doit perdre la nuance lilas qui caractérise sa flamme, et devenir d'un blanc plus ou moins brillant. Or, c'est précisément ce que l'expérience confirme. De plus, dans le cyanogène, l'extrémité violette acquiert un notable développement. Enfin, l'introduction d'un courant d'air dans une flamme doit modifier son état prismatique : les parties rouges et orangées doivent disparaître au profit de la zone violette. C'est ce dont il est facile de s'assurer par l'emploi du chalumeau.

M. Draper se demande incidemment si les faits précédents ne prouvent pas que toutes les combinaisons chimiques sont accompagnées d'un mouvement vibratoire rapide des parties qui s'unissent, et tel que ces vibrations deviennent plus nombreuses avec l'accroissement d'intensité de l'action chimique. Les portions centrales d'une flamme sont formées de molécules qui exécutent 400 billions de vibrations par seconde; les moyennes en font 600, et les extérieures 800 envi-

Digitized by Google

ron. La quantité de la lumière émise, en ce qui tient à la couleur, dépendant de la fréquence de ces vibrations, nous voyons la réfrangibilité croître parallèlement à l'action chimique. Les derniers atomes de la matière sont incessamment en vibrations dont le nombre et l'amplitude constituent ce qu'on appelle la température : si, par un procédé quelconque, tel que les affinités chimiques, on augmente ce nombre de 400 à 800 billions de vibrations dans une seconde, il en résulte l'ignition ou la combustion. Avec 600 billions, on a une température de 525° cent., et les ondulations éthérées produisent dans l'œil la sensation du rouge. Or, telle est aussi la température de la partie intérieure de la flamme. Si les vibrations augmentent de fréquence, la température s'élève, la lumière devient successivement orangée, jaune, verte, etc., et c'est l'état des diverses couches de la flamme à mesure qu'on s'approche de sa surface extrême. On voit donc dans le principe qui sert de base aux recherches que nous exposons une simple conséquence de la théorie des ondulations.

L'auteur termine en faisant remarquer que les longueurs d'ondulation qui correspondent aux huit grandes lignes fixes du spectre solaire sont, en cent millionnièmes du pouce français, pour A 2660, B 2541, C 2422, D 2175, E 1945, F 1794, G 1587, H 1464.

La longueur d'onde de B est donc de 119 m^mes^ moindre que celle de A, C de 238, D de 485, E de 715, F de 866, G de 1073, H de 1196, et ces différences sont à peu près dans le rapport des nombres 1, 2, 4, 6, 7, 9, 10. Une telle relation ne saurait être accidentelle. La longueur d'onde de la partie centrale, la zone jaune, qui est la plus lumineuse, est 2060. Les grandes lignes sont situées dans des positions symétriques par rapport à elle. La seule exception est celle de la ligne F, qui n'est pas symétrique à C. Ne pourrait-on pas conclure de ces rapprochements que la cause quelconque des lignes de Fraunhofer est périodique dans son action? Cette cause ne serait-elle pas peut-être la mise en liberté d'une substance incombustible au sein d'une flamme?

Nous ne discuterons pas ces conclusions de M. Draper; nous nous contenterons de renvoyer à ce que nous avons déjà dit, dans notre second volume, des rapports entre les longueurs d'onde des rayons

Digitized by Google

colorés, et à un mémoire de M. Mosotti, que nous analysons plus bas.

Il serait très-difficile d'établir un ordre logique et rigoureux entre les notes et mémoires suivants, qui se rattachent principalement au phénomène de la décomposition de la lumière.

Expériences et observations sur quelques-unes des lignes sombres et brillantes produites par le passage de la lumière à travers des vapeurs colorées et des gaz, ou visibles dans certaines flammes colorées, par M. W. A. MILLER.

La recherche de la cause qui produit les raies obscures du spectre solaire est encore entourée de difficultés et de ténèbres, et l'intérêt qui s'attache à la solution de cette ingrate question, au point de vue de la nature de la lumière, est si grand, que l'on doit accueillir avec faveur tous les faits qui la concernent, alors même qu'ils ne conduiraient pas à une solution complète.

En examinant le spectre donné par la lumière transmise à travers les vapeurs épaisses et rouges d'acide nitreux NO^4, sir David Brewster a fait la découverte remarquable que l'absorption des rayons lumineux due à ce milieu sur tous ses points, diffère de celles des autres liquides et solides, par l'apparition d'une multitude de bandes qui croisent ce spectre sur tous points, et sont parallèles aux raies de Fraunhofer ; ces lignes sont plus larges, plus sombres et moins nombreuses vers l'extrémité la plus réfrangible du spectre ; elles apparaissent, d'ailleurs, quelle que soit la lumière employée, solaire ou artificielle.

Peu de temps après, le professeur Miller, de Cambridge, et feu le professeur Daniel, étendirent ces recherches à d'autres vapeurs colorées, le chlore, l'iode, le brome, l'euchlorine et l'indigo. Les lignes obscures de l'iode et du brome présentaient un parallélisme complet; l'image colorée, dans chaque cas, était sillonnée, sur une grande portion de son étendue, par de nombreuses lignes équidistantes, qui se correspondaient parfaitement en nombre et en position dans les deux substances.

Cette similitude remarquable d'action exercée sur la lumière, par des corps dont les propriétés chimiques sont, sous plusieurs rapports, intimement liées, engagea M. Miller à soumettre à la même épreuve

Digitized by Google

divers autres composés colorés. Il avait espéré qu'il parviendrait à découvrir entre les corps, et surtout entre les composés de nature et de propriétés *similaires*, une certaine correspondance, sinon dans la position colorifique, du moins dans l'arrangement général des lignes devenues visibles par l'analyse prismatique de la lumière, après son passage à travers les différents milieux colorés. Cette espérance ne s'est réalisée que dans des proportions très-petites. Les résultats des expériences sont, le plus souvent, négatifs; les cas dans lesquels aucune ligne n'apparaît sont de beaucoup les plus nombreux. M. Miller cependant a recueilli sur son chemin un certain nombre de faits qu'il importe de signaler.

1° Les gaz incolores n'ont donné, dans aucun cas, des lignes additionnelles ou différentes de celles de Fraunhofer. On a expérimenté sur quarante substances différentes; leur densité variait depuis celle de l'hydrogène 0,0591, jusqu'à celle de l'éther 2,586, et de l'acide iodhydrique 4,388. Trois de ces substances étaient simples : l'oxygène, l'hydrogène et l'azote; onze étaient des composés différents par leur mode de condensation; le bioxyde d'azote, où les éléments sont unis sans condensation : le protoxide d'azote, où trois volumes des deux gaz sont condensés en un seul volume; l'ammoniaque, dans lequel deux volumes de gaz n'en font qu'un, etc., etc. Ces substances, enfin, différaient considérablement par leurs propriétés chimiques. Cinq des gaz étaient acides : les acides carbonique, sulfhydrique, chlorhydrique, iodhydrique et sulfureux. L'un, l'ammoniaque, est alcalin; un, le cyanogène, est ordinairement considéré comme un radical organique; l'un était composé d'un radical, comme l'éther; le dernier des gaz, le chlorure de soufre, possède des propriétés qui ne se rapportent en aucune manière à celles des gaz précédents.

2° La simple présence de couleur n'est pas un indice certain de l'existence des lignes. De deux vapeurs que l'œil ne distinguait point l'une de l'autre, l'une, le brome, donnait un très-grand nombre de lignes; l'autre, le chlorure de tungstène, n'en donnait aucune.

3° La position probable des lignes ne peut pas se déduire de la couleur du gaz. Avec le perchlorure vert de manganèse, les lignes sont plus abondantes dans le vert, tandis qu'avec les vapeurs rouges d'acide nitreux, elles augmentent en nombre et en densité, à mesure que l'on avance vers l'extrémité bleue du spectre.

Digitized by Google

4° Les corps simples, comme les corps composés, produisent des raies; et deux corps simples qui, isolés, n'en produisent pas, en donnent unis un nombre très-considérable. L'oxygène, l'azote et le chlore, hors de combinaison, ne produisent aucune ligne; mais quelques oxydes d'azote et de chlore manifestent ce phénomène de la manière la plus frappante. Il y a cependant des oxydes, tant d'azote que de chlore, qui ne font apparaître aucune raie.

5° On trouve aussi que ces raies qui apparaissent dans la vapeur d'une substance simple, comme l'iode, disparaissent dans les composés. C'est ce qui a lieu, par exemple, dans l'acide iodhydrique, combinaison à volumes égaux d'hydrogène et de vapeur d'iode, unis sans condensation.

6° Quelquefois les mêmes raies sont produites par différents degrés d'oxydation des mêmes substances; les oxydes de chlore sont un exemple remarquable en ce genre. Ici des considérations chimiques pleines d'intérêt peuvent mettre sur la voie de la cause inconnue du phénomène.

7° Les lignes croissent en nombre et en densité, à mesure qu'augmente la profondeur du milieu à travers lequel la lumière est transmise, ou quand une cause accidentelle accroît l'intensité de la couleur: quand la vapeur est épaisse et uniformément répandue, il apparaît plus de raies sombres que l'œil n'en saurait compter. C'est ce que l'on observe facilement avec l'iode et le brome.

8° Les raies se montrent avec la lumière polarisée et la lumière non polarisée. M. Miller ne doute pas, quoiqu'il n'ait point encore fait l'expérience, que ces lignes indiquent une absence d'action chimique, en même temps que de pouvoir éclairant.

Dans toutes les expériences de M. Miller, la source lumineuse était ordinairement la lumière diffuse du jour. Pour produire le spectre, on recevait la lumière sur un Flint-glass de Munich, monté à la manière de Fraunhofer, et ajusté à une lunette achromatique, placée à vingt pieds de distance d'une fente d'un quarantième de pouce de longueur, percée dans une plaque de fonte. La moitié de la fente laissait passer de la lumière ordinaire; l'autre moitié était recouverte par le tube ou le vase qui contenait les gaz et la vapeur colorée. Les deux spectres étaient ainsi juxtaposés, et le plus souvent

Digitized by Google

les raies de Fraunhofer, visibles sur le spectre de gaz ou de vapeur, fournissaient des points de repère très-utiles.

En augmentant la profondeur du milieu coloré, on augmente l'intensité et le nombre des lignes visibles; on en fait apparaître de nouvelles plus serrées, en rendant plus foncée la couleur du gaz. Quelquefois il suffira d'une très-petite quantité de gaz coloré pour rendre les raies sensibles; pour d'autres substances, il faut une quantité plus grande. L'iode et le brome diffèrent considérablement sous ce rapport. Quelquefois la température ordinaire suffit à la manifestation du phénomène; quelquefois une température plus élevée est nécessaire; car sans cela il faudrait augmenter considérablement l'épaisseur du milieu. Quand l'élévation de température rend, comme pour l'acide nitreux, la couleur beaucoup plus intense, les lignes sont plus sombres et mieux définies là où elles sont plus nombreuses. Dans les parties du spectre où elles sont assez nombreuses pour intercepter presque le passage de la lumière, elles forment comme une bande continue d'ombre épaisse, et redeviennent très-distinctes quand le vase se refroidit.

Ainsi, quand les vapeurs d'iode sont échauffées et très-denses, les espaces orangé et jaune sont sillonnés par des raies équidistantes, qui sont le caractère de ce gaz. L'espace vert, sur lequel l'iode agit plus encore, est comme une ombre uniforme; quand le refroidissement s'opère, et que la teinte des vapeurs est devenue de plus en plus claire, les raies dans le vert s'étendent, se séparent et ne s'effacent que lorsque les raies de l'orangé et du jaune ont tout à fait disparu. Pour quelques gaz et vapeurs, pour l'indigo, par exemple, il est nécessaire de faire le vide dans le tube ou le vase, et de le fermer au chalumeau.

M. Miller croit avoir remarqué que la lumière de l'après-midi et du soir fait apparaître mieux dessinées et plus visibles des raies que l'on verrait difficilement aux autres heures du jour. C'est ce qui a lieu surtout pour les raies des espaces rouges et orangés. Un soir qu'il observait le spectre produit par la lumière diffuse, le tonnerre gronda avec violence : aussitôt il vit apparaître, dans la partie brillante du spectre, entre D et E, des raies qu'il ne voyait pas auparavant; quand la pluie commença à tomber, elles se ternirent et disparurent.

Arrivons enfin aux phénomènes relatifs à chaque gaz particulier.

Digitized by Google

1° L'iode. La densité de sa vapeur est égale à 8,707 ; les raies sont surtout distinctes dans l'espace orangé et jaune ; elles sont si nombreuses dans le vert, qu'elles l'effacent ; on ne les voit pas dans les portions plus réfrangibles du spectre.

2° Le brome. Les raies correspondent à celles de l'iode. Elles sont moins distinctes cependant et plus rares dans l'espace orangé ; l'extrémité violette est complétement interceptée. La densité de la vapeur est 5,390.

3° Peroxyde d'azote. NO^4 ; densité, 3,183. Le gaz est d'une couleur orangée foncée ; il présente un très-grand nombre de raies, lesquelles, condensées sur certains points, forment des bandes obscures.

4° Peroxyde de chlore ; $Cl^2 O^6$. Les raies sont surtout confinées dans les espaces bleu et indigo ; la couleur du gaz est l'orangé éclatant.

L'acide chloreux $Cl O^3$ donnait la même série de raies que le peroxyde ; la solution dans l'eau, quoique très-colorée, ne produisait aucune ligne obscure ; elle interceptait seulement la partie la plus réfrangible du spectre, à partir de la ligne moyenne entre E et F. L'euchlorine Cl^3O^{13}, de M. Millon, redonnait encore les mêmes raies. Il est remarquable que l'acide hypochloreux $Cl^2 O^2$, quoique d'une couleur brillante vert-jaunâtre, ne donnât aucune raie.

5° Perchlorure de manganèse. Sa vapeur est de couleur verte ; les raies étaient moins abondantes dans l'espace vert du spectre.

6° Perfluorure de manganèse. On n'observe d'abord aucune raie. Mais elles apparaissent dès qu'on projette dans la liqueur qui fournit les vapeurs un fragment de sel commun. La vapeur pourpre de l'acide permanganique est aussi inefficace que le perfluorure. Il en est de même de toutes les autres vapeurs colorées examinées par M. Miller. Peut-être cet effet négatif dépend-il de la lunette dont il se servait, et qui avait un faible pouvoir grossissant. Les vapeurs colorées suivantes étaient inefficaces.

CORPS SIMPLES. — *Chlore*, couleur jaune-verdâtre ; densité, 2,47. Il est étonnant qu'il reste inactif, tandis que l'iode et le brome produisent tant d'effet.

Soufre, jaune ; densité, 6,634.

Selenium, jaune.

Digitized by Google

CORPS COMPOSÉS. — *Acide sélénique*, jaune ;

Acide hypochlorique, jaune : densité, 2,993 ;

Oxychlorure de chrome, — vapeurs rouges;

Oxychlorure de tungsten, — vapeurs rouges;

Perchlorure de tungsten, rouge; *sesquichlorure de fer*, rouge-brun; *perfluorure de manganèse*, jaune-verdâtre; *acide permanganique*, pourpre. C'est un beau spectacle que de voir une goutte d'eau projetée dans un tube plein de perchlorure de manganèse faire disparaître toutes les raies; *indigo*, couleur bleue splendide.

Dans les expériences sur les flammes colorées, M. Miller s'est surtout servi d'une solution alcoholique de la substance sur laquelle il expérimentait. Une mèche de coton, plongée dans un tube, formait la lampe dont on devait examiner la flamme : les raies de Fraunhofer servaient encore de points de repère.

Cuivre. Le spectre donné par le chlorure de cuivre est très-remarquable. Plusieurs intervalles absolument obscurs sont interrompus par des lignes brillantes d'une grande intensité, surtout dans les espaces vert et bleu. La teinte générale de la lumière diffuse est un vert bleuâtre.

Acide borique. Le spectre produit par la lumière verte de cet acide, en outre d'une raie fortement éclairée en D, présente cinq bandes brillantes dans le jaune et le vert, et une ligne étroite dans l'indigo.

Strontiane. Dans le spectre de la flamme du nitrate de strontiane, les portions rouge et orangée sont surtout très-développées, et sont sillonnées par trois lignes noires très-fortes; on remarque une ligne brillante dans le bleu, et une autre dans l'indigo.

Chlorure de calcium. En outre des lignes visibles dans l'orangé, il y a en D une raie jaune très-brillante, deux bandes claires dans le violet, et une dans l'indigo.

Chlorure de barium. Il y a dans l'orangé une raie brillante, une autre dans le jaune, une troisième dans l'indigo.

Chlorure de sodium. La lumière est surtout condensée sur une ligne brillante en D; une lumière faible paraît dans l'indigo et se termine brusquement par une raie brillante.

Chlorure de manganèse. Il y a tendance à former des lignes, mais

Digitized by Google

elles sont à peine visibles. Les chlorures de fer, de zinc, de cobalt, de nickel, de mercure, de magnésie, donnent naissance à une bande très-faible dans l'espace vert. Le bichlorure de mercure produit une ligne brillante près de G dans l'indigo.

M. Miller a expérimenté ensuite la lumière produite par l'ignition de différentes substances au sein d'un jet enflammé d'hydrogène et d'oxygène. Dans le spectre du charbon de bois, très-près du milieu de l'espace compris entre D et E, on voit une raie brillante très-étroite.

La chaux et la strontiane donnent les mêmes apparences que quand on trempait la mèche de coton dans leur solution.

Le zinc, le fer, l'acier, le platine, donnaient des spectres brillants, mais il n'y avait de raies que vers D. Le cuivre, le plomb, l'antimoine, fondaient sans produire une lumière suffisante pour des observations régulières.

Il est intéressant de faire remarquer que lorsque la lumière solaire était transmise à travers une flamme qui donnait par elle-même des raies sombres, ces raies apparaissaient de nouveau dans le spectre composé, pourvu que la lumière du jour ne fût pas trop intense relativement à celle de la flamme colorée. Cette expérience réussit très-bien avec la lumière rouge du nitrate de strontiane. Il semble résulter de ce fait qu'il existe des atmosphères lumineuses, dans lesquelles non-seulement il manque certaines raies, mais qui encore exercent une influence d'absorption positive sur d'autres lumières.

M. Miller a laissé à M. Wheatstone, qui l'avait devancé sur ce point, le mérite de mettre en évidence des faits non moins curieux, observés dans la flamme des substances mises en ignition aux pôles de la pile par l'action du courant voltaïque. Il y a six ans que le mémoire de M. Miller est écrit, et M. Wheatstone n'a pas encore publié ses expériences. Or, pendant ce trop long laps de temps, M. Foucault a publié une note curieuse sur les spectres produits par les corps qui brûlent entre les deux pointes de charbon fixées aux pôles d'une forte pile. Nous avons aussi répété ces belles expériences avec M. Soleil ; nous pouvons même dire que nous leur avons donné un plus grand éclat en projetant ces spectres sur un écran, sans leur rien faire perdre de leur splendeur. Ce qui avait frappé surtout M. Foucault, c'est la persistance de la raie brillant D que l'on retrou-

Digitized by Google

vait dans tous les spectres, quel que fût le métal employé, or, argent, cuivre, mercure, etc. Cette persistance, signalée aussi par M. Miller, est un fait singulier. Dans la combustion de l'argent et du cuivre, il y a une raie verte qui surpasse en intensité les rayons les plus illuminés du spectre solaire. Le spectre du cuivre était éminemment reconnaissable par ses raies vertes; celui du zinc par ses merveilleuses raies violettes; dans la flamme du laiton composé de cuivre et de zinc, on admirait les raies vertes du cuivre et les raies violettes du zinc; le maillechort, dans des expériences plus récentes, et que M. Jules Dubosc, gendre de M. Soleil, avait disposées avec plus d'art encore, a présenté des apparences beaucoup plus splendides : l'œil ne se lassait pas de contempler un nombre étonnant de raies brillantes et sombres, où l'on retrouvait toutes les raies lumineuses des métaux qui entrent dans la composition de cet alliage multiple. Avec un peu d'expérience, on arrive à faire, par l'observation des raies, l'analyse, sinon quantitative, du moins qualitative des combinaisons les plus complexes de métaux très-dissemblables. La beauté et la netteté de nos expériences nous amènent à conclure que les observations de M. Miller laissent beaucoup à désirer; nous en sommes presque à regretter de les avoir si complétement analysées. Dans le spectre du zinc, du fer, de l'acier, du platine, M. Miller a vu à peine la raie D; dans le spectre du cuivre, du plomb, de l'antimoine, il n'a rien vu : c'est bien certainement parce qu'il n'a pas su former convenablement son spectre; sans doute qu'il n'employait pas la lentille convergente dont M. Soleil a tiré un si admirable parti dans ses projections sur un écran des phénomènes optiques, et sans laquelle on n'obtient que des effets insignifiants.

En terminant, tirons encore une fois des faits que nous venons de décrire notre argument invincible contre la composition prétendue du spectre, défendue avec tant d'opiniâtreté par sir David Brewster. Les raies brillantes rouges, orangées, jaunes, vertes, bleues, indigo, violettes, quelle que soit la lumière que l'on analyse par le spectre, apparaissent constamment dans les espaces de même nuance; or, si réellement le spectre en chacun de ces points était un mélange de rouge, de jaune et de bleu, il serait impossible de ne pas admettre que quelquefois au moins une raie rouge, jaune, bleue, etc., serait dé-

Digitized by Google

placée et brillerait sur un fond de couleur étrangère. Il n'en est jamais ainsi : donc M. Brewster a tort.

Sur les indices de réfraction des raies fixes dans le spectre solaire formé par la lumière qui a traversé des milieux différents ; par M. BADEN-POWELL.

L'auteur, dans ses longues et difficiles recherches, a suivi les méthodes employées par Fraunhofer et Rüdberg.

Ses expériences se faisaient à l'aide d'un appareil dont les parties essentielles consistaient 1° en un cercle gradué, au centre duquel se trouvait un prisme ; 2° en une petite lunette achromatique munie d'un micromètre à fils très-fins. La lunette grossissait à peu près dix fois. Elle était constamment dirigée sur le prisme et se mouvait avec ce dernier autour du centre du cercle. Le diamètre du cercle était de 10 pouces ; son limbe d'argent était divisé, chaque division correspondait à dix minutes, deux verniers munis de loupes et placés vis-à-vis l'un de l'autre permettaient d'apprécier des angles de 10″.

La fente qui représentait la source de lumière était large d'environ 0,05 pouces, et formée des bords de deux plaques de laiton. Elle faisait ainsi partie d'un volet dont le côté extérieur portait un héliostat ou un porte-lumière, qui projetait le rayon lumineux dans la direction voulue. De cet appareil au prisme on comptait environ 12 pieds. On observait directement la déviation absolue de chaque rayon issu du point O, ou du point milieu de la fente, dont l'image apparaissait très-distincte dans la lunette. Il n'était pas difficile de donner à l'arête du prisme une position bien parallèle à la fente, et de déterminer, à l'aide du croisement des fils et pour chaque raie fixe, la position du minimum de déviation.

De la déviation observée on déduisait l'indice de réfraction μ à l'aide de la formule connue :

$$\log \mu = \log \sin \frac{\delta + \iota}{2} - \log \frac{\iota}{2},$$

dans laquelle δ est le minimum de déviation et ι l'angle du prisme.

Dans les expériences avec les fluides, on se servait de prismes creux, formés de verres à faces exactement parallèles, et dont on dé-

Digitized by Google

terminait les angles par un procédé particulier. Un thermomètre placé dans les prismes accusait la température.

Pour s'assurer de l'identité des raies avec les raies de Fraunhofer, on plaçait à côté du spectre solaire l'admirable dessin des *Mémoires* de Munich et des *Annales astronomiques* de Schumacher.

Dans l'appréciation de l'exactitude des observations et de leur concordance, il ne faut pas oublier que les prismes fluides étaient nécessairement exposés pendant tout le temps à l'action calorifique des rayons solaires, et que par conséquent les indices de réfraction subissaient continuellement de petites variations, que l'on ne pourrait éliminer qu'en multipliant les observations. En général, les expériences faites à des températures très-élevées méritent peu de confiance.

Les indices de réfraction des différents milieux ne peuvent pas être comparés avant leur réduction à une température commune. La diminution admise des indjces de réfraction proportionnellement à l'élévation de la température n'a lieu que dans des limites très-étroites.

Dans beaucoup de milieux, les rayons bleus et violets sont absorbés; dans d'autres, ce sont les raies qui sont peu visibles, quoique l'on puisse reconnaître quelquefois leur position à l'aide de verres colorés.

Pour donner une idée de l'immense travail de M. Powell, nous dirons qu'il a opéré sur les milieux suivants : huile de cassia, sulfure de carbone, huile d'anis, créosote, huile de sassafras, acide sulfurique, acide chlorhydrique, alcohol, vinaigre de bois, eau distillée, solutions de soude, acétate de potasse, sel gemme, chlorure de calcium, sel ammoniac, salpêtre, nitrate d'argent, chlorure de barium, sel de Glauber, chlorure de zinc, nitrate de bismuth, acide nitrique, acétate de plomb, etc., etc.

Comme exemple des résultats obtenus par M. Powell, nous citerons les valeurs des indices correspondants à diverses températures, et relatifs à l'huile de cassia. Voici ces nombres :

	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.
10° C. :	1,5963	1,6007	1,6104	1,6249,	1,6389	1,6698	1,7039,
14° C. :	1,5945	1,5979	1,6073	1,6207,	1,6358	1,6671	1,7025,
22°5C. :	1,5895	1,5930	1,6026	1,6174	1,6314	1,6625	1,6985.

Digitized by Google

VIII. *Décomposition prismatique des couleurs d'interférence*, par J. MÜLLER, à Fribourg.

« Pour déterminer si les couleurs des corps transparents s'expliquent ou non par des interférences, il faut les comparer avec les couleurs d'interférence. M. de Wrede a, le premier, démontré que, dans la décomposition prismatique du blanc de premier ordre, il se forme un spectre sillonné par une série de bandes noires semblables aux bandes qui s'observent dans le spectre, quand on fait passer la lumière à travers des vapeurs d'iode ou de brome. M. Erman a mesuré, dans les deux cas, les distances des bandes, et il essaie de démontrer qu'elles suivent la même loi que les distances des bandes données par une lame de mica, de telle sorte qu'on puisse admettre que les bandes données par la lumière qui a traversé les vapeurs d'iode et de brome sont, comme les bandes de la lame de mica, un phénomène d'interférence. Or, la lumière qui a traversé une feuille de mica est blanche; c'est une couleur d'ordre supérieur, tandis que la lumière qui a passé par des vapeurs d'iode et de brome est colorée. M. de Wrede a montré que cette coloration n'est pas en rapport direct avec les bandes, et qu'il faut considérer la lumière qui a traversé les vapeurs d'iode et de brome, pour ainsi dire, comme une combinaison d'une couleur d'un ordre inférieur avec un blanc d'ordre supérieur.

» En réalité, on rencontre souvent le phénomène de l'absorption chromatique sans qu'on observe, en même temps, le phénomène des bandes. Dans le spectre formé par la lumière qui tombe sur un prisme, après avoir traversé des fluides colorés, on n'observe que quelques minima d'intensité, mais point de bandes régulières; d'où il résulte évidemment qu'il faut, pour arriver à la solution de la question relative à la production des couleurs des corps, comparer ces couleurs avec des couleurs d'interférence d'ordre inférieur, lesquelles, seules, présentent une coloration belle, brillante et très-distincte.

» Les plaques assez minces pour produire les couleurs de Newton d'ordre inférieur sont trop fragiles pour pouvoir servir aux expériences faites par MM. de Wrede et Erman sur des feuilles de mica,

Digitized by Google

bien plus épaisses. Sous ce rapport, la décomposition prismatique des couleurs d'interférence d'ordre inférieur offre de grandes difficultés. On peut cependant les lever en employant des feuilles de gypse, chaux sulfatée, et de la lumière polarisée.

» Une lame de gypse, qui est déjà trop épaisse pour manifester à elle seule une coloration, présente des couleurs dans l'appareil de polarisation. Ces couleurs des lames de gypse dans la lumière polarisée sont identiques aux couleurs de Newton. Or, on peut coller des lames de gypse entre des plaques de verre, et se procurer de cette manière une collection de lames qui présentent des couleurs différentes, et sur lesquelles on puisse facilement opérer.

» En plaçant de telles lames dans une position convenable, entre deux prismes de Nicol, leurs couleurs apparaissent très-belles et très-pures; et voici la manière la plus simple de les décomposer prismatiquement et de les soumettre à l'observation :

» *On projette le spectre sur un écran de papier et on l'observe à travers une lame de gypse placée entre deux prismes de Nicol.*

» Quand on place entre les prismes croisés de Nicol une lame de gypse donnant une couleur de premier, second ou troisième ordre, l'intensité de la lumière est très-affaiblie et presque effacée à un endroit du spectre, qui, suivant la couleur de la lame, occupe le milieu ou se rapproche de l'extrémité. Exemple : le *violet*, pourpre foncé, du second ordre produit dans le jaune une bande sombre; le *jaune* du second ordre efface l'extrémité violette du spectre, etc., etc.

» Les couleurs du quatrième ordre présentent déjà deux bandes sombres. Exemple : le *vert* du quatrième ordre fait apparaître dans le rouge une bande sombre, et une seconde bande dans le bleu.

» En employant successivement des lames toujours plus épaisses, on observe 3, 4, 5, 6, etc., bandes sombres.

» Si l'on veut mesurer les distances des bandes, ce qui peut être de quelque importance dans beaucoup de recherches, on n'a qu'à dessiner sur l'écran une échelle divisée.

» Je laisserai de côté les observations faites sur des lames de gypse plus minces, et je me bornerai à décrire les phénomènes de bandes d'interférence donnés par quelques plaques plus épaisses. Les quatre observations suivantes se faisaient sur des lames dont je désignerai

Digitized by Google

l'épaisseur par I, II, III, IV. I était la lame la plus mince des quatre et donnait le vert du quatrième ordre ; les autres ne donnaient que le blanc. Le spectre, sur l'écran, embrassait l'espace compris entre les lignes de division 33 et 69.

» La lame I présentait deux bandes sombres ; le milieu de l'une se trouvait à 50,5, c'est-à-dire dans le bleu ; le milieu de la seconde à 65, c'est-à-dire dans le rouge.

» La lame II produisait cinq bandes sombres, dont les milieux coïncidaient avec les divisions

40 ; 47; 54 ; 60 et 65,25 ;

c'était un très-beau phénomène.

» La lame III faisait apparaître 11 bandes ; la position de la dernière de ces bandes, dans le rouge, ne pouvait plus être bien distinguée ; les autres occupaient les lignes de division

66 ; 63,5 ; 60,75 ; 58,25 ; 55,25 ; 52 ; 48,5 ; 45 ; 41 ; 36,75.

La première de ces bandes tombe dans le rouge, la seconde dans l'orangé ; la troisième occupe la limite entre le jaune et le vert ; les deux suivantes se trouvent dans le vert, etc., etc.

» Dans l'observation avec la lame III, on avait changé un peu la position de l'écran : l'extrémité violette du spectre était à 22, la rouge à 71. Le nombre des bandes, dans ce spectre, était 30. La position des dernières bandes, aux extrémités de la série, ne pouvaient plus être bien distinguée ; voici l'emplacement des autres :

29 ; 31 ; 33; 35 ; 36,8 ; 38,75 ; 40,6 ; 42,1; 44,1 ; 45,75 ; 47,4 ; 49; 50,5; 52 ; 53,5 ; 55 ; 56,4 ; 57,8 ; 59,1; 60,25 ; 61,5 ; 62,75 ; 64 ; 65,1; 66,2.

» Plus le nombre des bandes augmente, plus leur largeur diminue ; mais si elles deviennent trop minces, elles ne forment plus, dans ce mode d'observation, des bandes sombres nettement dessinées : elles deviennent par trop diffuses. Si cependant le nombre des bandes comprises dans toute l'étendue du spectre n'excède pas 70, on peut encore très-bien les distinguer. Si ce nombre continue à augmenter, les bandes commencent à devenir de plus en plus invisibles, et disparaissent enfin entièrement.

» Les phénomènes dont il vient d'être question sont produits par de la lumière polarisée qui, en tombant sur une lame de gypse, est divisée en deux faisceaux de rayons, dont l'un devance l'autre d'un

Digitized by Google

certain nombre de longueurs d'ondes, suivant l'épaisseur de la lame. Après avoir traversé la lame de gypse, les deux faisceaux de rayons sont ramenés, par le second prisme de Nicol, à un même plan de vibrations, et l'interférence est redevenue possible. Quand les prismes de Nicol sont croisés, ou à angle droit, les deux rayons se détruisent mutuellement, si l'un a devancé l'autre dans la plaque de cristal de 1, 2, 3, 4, etc., etc., ou, enfin, d'un nombre entier de longueurs d'ondes.

» Or, si, par rapport aux rayons rouges qui correspondent à une portion déterminée du spectre, l'un des faisceaux de rayons a devancé, dans la lame de gypse, l'autre faisceau de n longueurs d'ondes, l'avance de l'un des faisceaux, par rapport aux rayons *plus* réfrangibles, c'est-à-dire aux rayons jaunes, verts, bleus, etc., etc., dans la même feuille de gypse, dépassera n longueurs d'ondes.

» Et, si maintenanton regarde le spectre à travers cette lame de gypse renfermée entre deux prismes de Nicol, la portion rouge sera effacée, ou mieux, elle sera remplacée par une bande sombre. La différence de marche des deux faisceaux dans la lame de gypse, relative à cette bande, sera exactement de n longueurs d'ondes. Si l'on considère la bande sombre la plus rapprochée de la dernière du côté de l'extrémité violette du spectre, la différence de marche sera de $n + 1$; elle sera de $n + 2$ longueurs d'onde relativement à la bande suivante, etc.

» Une lame de gypse, dont la couleur est le vert du quatrième ordre, présente, comme nous l'avons déjà indiqué dans la décomposition par le prisme, deux minima, dont l'un coïncide à peu près avec la bande située au sein du rouge, l'autre avec la bande située au sein du bleu. L'avance de l'un des rayons dans la lame de gypse qui donne le vert du quatrième ordre est de 4 longueurs d'ondes pour la lumière bleue, et de 3 longueurs d'ondes pour la lumière rouge. Une lame de gypse, dont l'épaisseur serait double de celle qui donne le vert du quatrième ordre, produirait des bandes sombres aux mêmes endroits que le vert du quatrième ordre; mais la différence dans la marche des deux rayons, pour la bande au sein du bleu, serait 8; pour la bande au sein du rouge, 6 longueurs

Digitized by Google

d'ondes : et, par conséquent, ces lames plus épaisses produiraient encore une nouvelle bande obscure entre les deux premières.

» Une lame trois fois plus épaisse que celle qui donne le vert du quatrième ordre produira encore une bande au sein du rouge et une bande au sein du bleu, exactement aux mêmes endroits que la lame précédente : mais la bande au sein du bleu répond, dans ce cas, à une différence de marche égale à 12 ; la bande au sein du rouge à une différence de marche égale à 9 longueurs d'ondes : donc, au milieu de ces deux bandes, on en retrouvera deux autres, comme l'expérience le montre.

» En partant de ces calculs tout à fait élémentaires, on parvient facilement à trouver pour chaque lame la valeur de l'avance de l'un des rayons interférents sur l'autre dans chaque partie du spectre.

» Supposons que la différence de marche pour une lame A et une bande quelconque soit de n longueurs d'ondes, cette différence sera, par conséquent, pour la bande la plus rapprochée du côté violet, de $n + 1$ longueurs d'ondes.

» Or, si l'épaisseur d'une autre lame B est un multiple de l'épaisseur de la lame A, la lame B produira deux bandes aux mêmes places où se trouvaient les deux bandes de la plaque A, provenant des différences de marche de n et $n + 1$ longueurs d'ondes. Mais pour la lame B on aura, en outre, entre ces deux premières bandes, plusieurs bandes nouvelles dont le nombre dépendra du nombre qui indique combien de fois la lame B est plus épaisse que la lame A.

» Si B est 2, 3, 4, 5... m fois plus épaisse que A, il y aura entre les deux bandes primitives, par l'interposition de la lame plus épaisse, 1, 2, 3, 4... $m - 1$, nouvelles bandes. Réciproquement, si deux bandes d'une lame plus épaisse coïncident avec deux bandes d'une lame moins épaisse, se succédant immédiatement, et que pour la lame plus épaisse on compte, entre ces deux bandes communes, un nombre m de nouvelles bandes, la seconde lame sera $m + 1$ fois plus épaisse que la lame plus mince ; et la différence de marche, pour les bandes correspondantes à la lame plus épaisse, sera aussi m + 1 fois plus grande.

» En appliquant ces principes à la détermination des différences de marche des deux rayons interférents, qui correspondent aux bandes

Digitized by Google

produites par la lame IV, nous obtiendrons les résultats suivants :

» Les expériences relatives à la lame IV ne pouvaient pas être directement comparées avec celles relatives à la lame I, parce que, dans la dernière série d'expériences, le spectre avait une autre position que dans la première. Pour ne pas être obligé de faire des calculs de réduction difficiles, j'ai répété l'expérience sur les deux lames, avec la même position du spectre. Ce dernier s'étendait de la ligne de division 19 à la ligne 64 ; pour la lame I, les deux minima se trouvaient à 58,5 et 41,5. La lame IV donna une bande sombre à 41,25, une autre à 58,75, et entre ces deux bandes-limites on en observait encore 14. Ces deux bandes-limites coïncidaient à peu près avec les deux bandes de la lame I : on pouvait en conclure que la lame IV était 15 fois plus épaisse que la lame I, et par conséquent la bande-limite au sein du rouge correspondait à une différence de marche égale à 3×15, ou 45; la bande limite au sein du bleu à une différence de marche égale à 4×15, ou 60 longueurs d'ondes, quantité dont l'un des rayons a devancé l'autre dans la lame de gypse.

» Au delà de la bande-limite au sein du rouge, il y avait encore cinq bandes correspondantes aux différences de marche, 44, 43, 42, 41 et 40 longueur d'ondes. Au delà de la bande-limite au sein du bleu, il y en avait encore neuf, correspondantes aux différences de marche, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68 et 69 longueurs d'ondes.

» On sait que les indices de réfraction des rayons colorés ne sont point proportionnels au rapport inverse des longueurs d'ondes : par conséquent, la portion bleu et violet du spectre est plus étendue. Par la même raison, la distance entre les bandes sombres dont il est ici question ne peut pas être la même dans toute l'étendue du spectre : au contraire, ces distances doivent augmenter depuis l'extrémité rouge jusqu'à l'extrémité violette. Ainsi, par exemple, pour la lame III, le dernier intervalle à l'extrémité rouge est de 2,5, l'avant-dernier de 2,75, tandis que les deux derniers intervalles à l'extrémité violette sont de 4 et de 4,25.

» Le rapport suivant lequel les intervalles entre les bandes noires augmentent depuis l'extrémité rouge jusqu'à l'extrémité violette dépend de la nature du prisme, qui produit le spectre, et, par conséquent,

Digitized by Google

la loi de cette augmentation en largeur ne saurait être trouvée que par voie empirique.

» En comparant la distance entre les bandes noires, on trouve d'abord qu'elle augmente vers l'extrémité violette du spectre. Or, en divisant la grandeur d'un intervalle par la grandeur de l'intervalle suivant du côté violet, on obtient presque toujours le même quotient : il est donc probable que la grandeur des intervalles augmente en progression géométrique. Cette hypothèse, que la grandeur des intervalles augmente en progression géométrique, s'accorde assez exactement avec les résultats de l'expérience.

» Quand on divise chacun des intervalles observés pour la lame III par l'intervalle suivant, on obtient une série de quotients qui sont à peu près égaux ; la moyenne de ces quotients est 1,09113. Si maintenant on désigne la largeur de l'intervalle entre la bande correspondante à la division 66 et la bande suivante par l, le facteur 1,09113 par n, le premier intervalle suivant sera, par conséquent, ln, le second ln^2, etc., etc. La distance de la première et de la dernière bande 66 — 36,75, ou 29,25, est la somme de tous ces intervalles. On a donc :

$$l + ln + ln^2 \ldots\ldots + ln^7 + ln^8 = 29{,}25,$$

puisqu'il y a neuf intervalles.

Substituant à n sa valeur 1,09113, il résulte de cette équation $l = 2{,}2357$: le premier intervalle suivant est alors 2,4395, le second 2,6618, etc., etc.

» Ayant calculé la grandeur de chaque intervalle, on peut, en partant d'une bande quelconque, déterminer la position des autres bandes. L'accord entre les résultats du calcul et les résultats de l'observation est une preuve concluante en faveur de l'hypothèse de la croissance en progression géométrique des intervalles entre les bandes. La discussion des expériences prouve que cet accord subsiste pour les lames III et IV : l'hypothèse ci-dessus énoncée peut donc être considérée comme une loi de la nature.

» Pour savoir si les bandes d'absorption, produites par les vapeurs d'iode et de brome, suivent la même loi que les bandes d'interférence des lames de gypse, il faudrait seulement examiner s'il existe entre les bandes d'absorption de ces vapeurs et les bandes d'interfé-

Digitized by Google

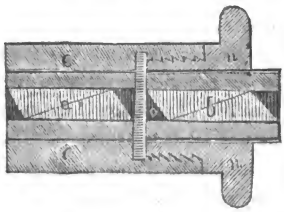
rence d'une lame de gypse un rapport semblable à celui qui existe entre les bandes d'interférence des lames III et IV.

» D'après les recherches de M. Erman, l'existence de ce rapport est très-probable. »

Dans un second mémoire sur le même sujet, M. Müller indique comment il a considérablement perfectionné sa méthode d'observation. Nous venons de voir en quoi elle consistait.

On faisait tomber un rayon de lumière à travers une fente mince dans une chambre obscure, et l'on décomposait ensuite ce rayon par un prisme, après lui avoir fait traverser une seconde fente placée à six ou huit pieds de distance de la première; on regardait le spectre reçu sur un écran à travers une feuille de gypse, maintenue dans une position convenable entre deux prismes de Nicol. Le spectre alors était sillonné par les raies noires que nous avons décrites. Maintenant M. Müller place la feuille de gypse, maintenue entre les deux prismes de Nicol, immédiatement devant ou derrière la seconde fente, de telle sorte que ce n'est plus de la lumière ordinaire, mais de la lumière déjà modifiée par l'effet de son passage à travers les deux prismes de Nicol et la feuille de gypse, qui tombe sur le prisme. De cette manière, les raies noires apparaissent plus distinctes dans le spectre, et peuvent être vues de plusieurs personnes à la fois.

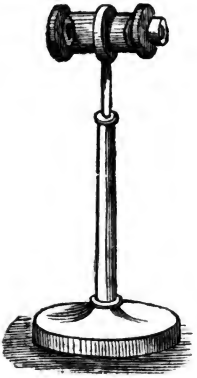
Les figures 1, 2 et 3 représentent l'appareil qui sert à installer convenablement la feuille de mica et les prismes de Nicol, soit devant, soit derrière la seconde fente. Les prismes de Nicol, enchâssés à l'ordinaire dans du liége ou du laiton, sont engagés dans une garniture ou enveloppe en bois, formée de deux boîtes, comme on le voit dans la figure 1. La boîte n, qui renferme le prisme de Nicol b, peut être

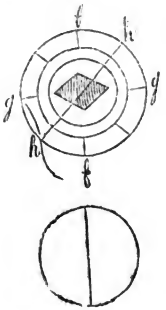


vissée sur le prolongement de la boîte c, après qu'on a interposé la feuille de gypse o, enfermée entre deux plaques rondes de verre.

Digitized by Google

L'enveloppe en bois peut être fixée sur un pied, fig. 2, et placée dans la position convenable auprès de la seconde fente.





Si les raies doivent paraître dans le spectre, il faut que la section principale de la feuille de gypse forme un angle de 45° avec la section principale du prisme a de Nicol, et que les sections principales des deux prismes de Nicol soient parallèles ou perpendiculaires entre elles. Afin de pouvoir bien placer dès le commencement les feuilles de gypse, la boîte de bois, qui renferme le prisme de Nicol a, porte, fig. 3, des marques ou points de repère. Cette figure représente la boîte c avec son prisme de Nicol, vue de b, après qu'on a dévissé l'écrou n; ff sont les deux repères marqués sur le bord extérieur de la boîte. La ligne qui les réunit partage en deux parties égales l'angle obtus du prisme de Nicol; la droite qui joint les repères gg partage en deux l'angle aigu de ce même prisme. Les marques hh sont situées de telle sorte, que la droite hh partage en deux l'angle droit formé par ff et gg. On indique de même sur les plaques de verre, entre lesquelles se trouve la feuille de mica, à l'aide d'un trait de diamant, la direction de la section principale, qu'on trouve facilement à l'aide d'un appareil de polarisation de Noremberg. On place le miroir analyseur de manière que le champ de vision soit sombre : si alors on met la feuille de mica renfermée entre les plaques de verre rondes, fig. 3, sur le support du milieu de l'appareil de polarisation, cette feuille paraîtra en général éclairée; mais on la tourne

Digitized by Google

de manière que sa lumière soit éteinte, et qu'en conséquence elle ne puisse plus exercer aucune action dépolarisante. Puis, avec la pointe du diamant, on trace sur la plaque de verre supérieure une ligne qui passe par le centre de la plaque, et coïncide avec le plan de réflexion du miroir polarisateur de l'appareil. Ce repère une fois obtenu sur la plaque de verre, il est très-facile de placer la feuille de gypse dans la position qu'elle doit occuper entre les prismes de Nicol. On n'a qu'à la poser de manière que le trait de diamant tombe dans la direction hh, fig. 3. Enfin, on visse alors la boîte n avec le prisme de Nicol b, autant qu'il est nécessaire pour assujettir les plaques de verre avec les feuilles de gypse.

Le second prisme de Nicol b doit être tourné dans sa boîte de telle sorte que la droite, qui coupe en deux parties égales son angle obtus, coïncide avec la ligne correspondante du prisme de Nicol a, ou qu'elle lui soit perpendiculaire. Supposons que les prismes de Nicol soient placés en croix, des raies sombres apparaîtront à certains endroits du spectre. Si maintenant on tourne le prisme de Nicol a sur son axe, les raies sombres deviennent plus pâles, et les points où la lumière était plus intense diminuent de clarté jusqu'à ce que le prisme ait tourné de 45°; toutes les raies alors sont disparues. En le tournant encore de 45°, les raies reparaissent, mais dans les endroits qui, primitivement, étaient les plus éclairés: les points où apparaissaient d'abord les raies noires sont à présent les points les plus lumineux.

Il était facile de prévoir ce renversement, car la couleur de la feuille de gypse, quand les prismes de Nicol sont croisés, est complémentaire de celle qu'on observe quand les prismes sont parallèles.

Afin de pouvoir faire tourner dans son plan la feuille de gypse, on a pratiqué dans la boîte de bois c, qui la renferme, deux incisions diamétralement opposées l'une à l'autre, ainsi qu'on peut le voir fig. 2.

Quand on tourne la feuille de gypse dans son plan, les raies deviennent plus faibles et disparaissent entièrement après une rotation de 45°; mais elles reparaissent aux places primitives, après une nouvelle rotation de 45°.

Pour projeter les raies noires sur un écran, il faut la lumière solaire, une chambre obscure et un héliostat, ou du moins un porte-lumière.

Si on renonce à les projeter, on pourra n'employer que la lumière

Digitized by Google

d'une lampe. On fixe à l'appareil, fig. 2, en un point convenable, à l'une des extrémités ou même près de o entre les deux boîtes, un écran mince, de carton, par exemple, dans lequel se trouve une fente d'un millimètre de largeur, placée dans une position verticale ; on place ensuite l'appareil entier, fig. 2, devant la lampe, et on observe la fente à travers un prisme de flint-glass, placé à 1 1/2 ou 2 pieds de distance de la fente, et l'on aperçoit celle-ci sous la forme d'un spectre sillonné par des lignes verticales.

L'appareil représenté fig. 3 contient encore un appendice dont nous n'avons rien dit. De même que l'on visse, fig. 1, la boîte n sur le côté droit de la boîte c, on peut visser de la même manière sur l'autre côté une seconde boîte avec son prisme de Nicol, comme on le voit fig. 2. L'avantage qui résulte de cette modification de l'appareil consiste en ce qu'on peut, pour ainsi dire, combiner les couleurs de deux feuilles de gypse.

Si, en effet, on applique dans la position convenable une feuille de gypse de chaque côté du prisme de Nicol central, puis qu'on installe de chaque côté un prisme de Nicol, la lumière qui traversera maintenant l'appareil sera une combinaison des couleurs des deux feuilles de gypse : le spectre résultant présentera et les raies noires produites par la première lame, et les raies produites par la seconde.

Si, par exemple, une des feuilles de gypse donne le violet du second ordre, tandis que l'autre feuille est tellement épaisse qu'elle ne montre aucune couleur et apparaisse blanche, alors l'ensemble des deux couleurs, sans décomposition prismatique, ne sera pas distinct du violet du second ordre ; mais, par l'effet de la décomposition prismatique, on verra apparaître une foule de raies noires qui montrent à l'œil qu'ici le violet est une combinaison du violet du second ordre avec une teinte d'ordre très-supérieur. En effet, le violet par lui seul ne peut produire qu'une raie noire sombre, tirant sur le jaune : cette raie sombre, c'est-à-dire un jaune qui dérive du violet du second ordre, teint en jaune les intervalles éclairés des lignes sombres produites par l'autre feuille de gypse.

On retrouve ainsi un phénomène qui a quelque analogie avec la couleur des vapeurs d'iode. Si le violet des vapeurs d'iode n'était pas une couleur composée ou complexe, il ne pourrait pas produire dans sa décomposition tant de raies noires, car la couleur d'interférence,

Digitized by Google

qui produit beaucoup de raies noires, est un blanc d'ordre supérieur. Par cela seul que les vapeurs d'iode sont colorées et donnent naissance à beaucoup de raies noires, leur couleur doit être une combinaison d'une couleur d'un certain ordre avec un blanc d'un ordre supérieur, si tant est que la couleur de la vapeur d'iode soit un phénomène d'interférence.

Dans beaucoup de cas, presque toujours même, il est impossible de réduire les couleurs naturelles des corps à de simples couleurs d'interférence d'ordre inférieur, tandis qu'au contraire on pourrait réussir à les représenter comme des combinaisons de plusieurs couleurs d'interférence. A ce point de vue, l'appareil à l'aide duquel on peut en effet produire et décomposer prismatiquement une combinaison de deux couleurs d'interférence offre un nouvel intérêt.

III. *Décomposition prismatique des couleurs de divers fluides*, par J. MÜLLER.

Une des questions les plus importantes, au point de vue de la théorie de la lumière, est actuellement, sans aucun doute, l'explication des couleurs naturelles des corps. Il faut l'exiger de la théorie des vibrations, après qu'elle a expliqué non-seulement qualitativement, mais aussi quantitativement, les phénomènes de la réflexion, de la polarisation, de la double réfraction, etc., etc. M. de Wrede a, le premier, comme nous l'avons vu, soumis cette question à un examen approfondi ; il a essayé de ramener les phénomènes de l'absorption de la lumière transmise par les vapeurs du brome, de l'iode, ainsi que la lumière de quelques flammes colorées, au principe des interférences.

Il a démontré que les phénomènes de l'absorption peuvent bien être des phénomènes d'interférence, et qu'il ne sont point en contradiction avec la théorie des ondulations; mais avec cela la question n'est pas résolue. Il ne suffit pas d'expliquer qualitativement les phénomènes de l'absorption, il faut encore le faire quantitativement; toutes les couleurs d'absorption, celles entre autres des fluides colorés et des solides, doivent pouvoir être expliquées complétement par le principe des interférences.

Mais avant qu'on fasse des expériences pour expliquer ces cou-

Digitized by Google

leurs, il faut établir nettement leur composition. Il faut, en les soumettant à la décomposition prismatique, arriver à construire des courbes qui caractérisent ces couleurs, ainsi qu'on l'a vu et fait pour les couleurs d'interférence. Ces courbes ensuite serviront de point de départ dans la comparaison à établir entre les couleurs d'absorption et les couleurs d'interférence.

Voici comment M. Müller a réalisé ses expériences sur la décomposition prismatique des couleurs d'absorption.

Sur l'écran de papier qui avait servi à la projection des lignes ou raies de Fraunhofer, on produisait un spectre tout à fait de la même manière, puis l'on plaçait le fluide à examiner devant la seconde fente : par l'effet de l'absorption, une portion du spectre disparaissait.

La première expérience était faite sur des solutions assez concentrées, et, par conséquent, une petite partie du spectre était seule visible. On notait les divisions-limites de la portion éclairée. On remplaçait ensuite la moitié du fluide coloré par de l'eau, et on répétait l'expérience. Une plus grande portion du spectre était redevenue visible. Dans la troisième observation, on remplaçait encore la moitié du fluide par de l'eau : la couleur alors n'avait plus que le quart de sa concentration primitive, etc., etc.

Montrons, par un exemple particulier, comment on arrivait au tracé de la courbe.

Le spectre entier s'étendait de la division 44 de l'extrémité violette jusqu'à la division 70 de l'extrémité rouge. Les trois raies sombres principales se trouvaient à 50,3, 58 et 60. Une solution de bleu de Paris dans de l'acide oxalique, encre bleue, donna les résultats suivants :

Solution concentrée, éclairée entre 52 et 58, délayée par 1/2, 50—60 ; par 1/4, 49—62 ; par 1/8, 47—63 ; par 1/16, 46—64,5 ; par 1/32, 45,5—63,5.

C'est avec ces nombres qu'a été construite la courbe fig. 1, de la manière suivante :

La figure 1 représente un rectangle allongé, dont la largeur représente, sur une échelle un peu raccourcie, la largeur du spectre. Sur la ligne horizontale supérieure sont marquées, de 5 en 5, les divisions adoptées, et en bas on a noté les couleurs correspondantes :

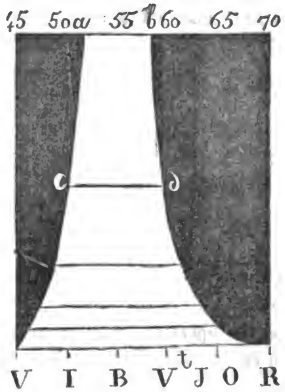
Digitized by Google

V, I, B, V', J, O, R. Sur la ligne supérieure encore se trouvent indiqués les points a=52 et b=58, entre lesquels il y a encore de la lumière, après qu'on a interposé la solution concentrée de bleu de Paris. Sur la ligne horizontale, menée au milieu de la hauteur du rectangle, sont marqués les points c et d, qui renferment le nouvel espace éclairé, après qu'on a interposé la solution délayée de 1/2. On trace enfin de la même manière des lignes horizontales à 1/4, 1/8, 1/16 de la hauteur du rectangle, et l'on y marque les points qui limitent l'espace éclairé du spectre ; quand on a délayé la solution de 1/4, 1/8, 1/16, etc., et par les points déterminés ainsi, on fait passer la courbe qui représente la largeur des parties éclairées du spectre, qui augmentent à mesure que la solution est plus delayée.

Dans l'expérience sur la solution concentrée du bleu de Prusse, il ne reste du spectre que le bleu véritable, qui va de la limite de l'indigo jusqu'à la limite du vert; quand on délaie de 1/2 la solution, l'espace éclairé augmente à droite et à gauche, d'un côté jusqu'à peu près au milieu de l'indigo, de l'autre côté, jusqu'au milieu du vert, etc., etc.

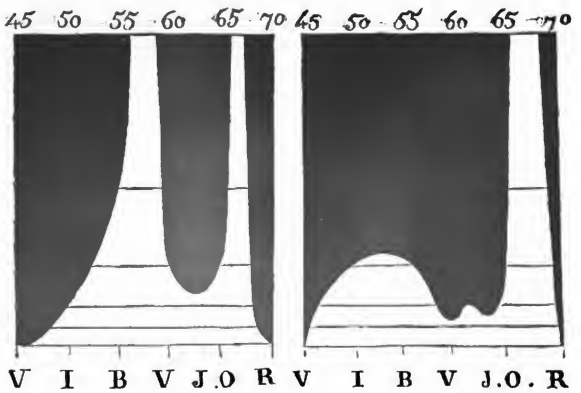
On a répété les mêmes expériences avec un certain nombre de liquides colorés et construit des courbes particulières à chacun d'eux. Nous donnerons comme exemple la courbe de l'encre bleue, fig. 1

Fig. 1



Digitized by Google

celle du carmin, fig. 2, celle de l'encre verte, fig. 3; et nous en-



trerons dans quelques détails sur les résultats obtenus avec quelques fluides particuliers.

Acide sulfurique. — Oxyde de cuivre. — Ammoniaque. — Dans l'expérience sur la solution concentrée on aperçoit en sus du bleu proprement dit, qui ne s'étend pas tout à-fait jusqu'à la limite du vert, l'indigo et le violet presque jusqu'à l'extrémité du spectre. La couleur de cette solution ne se distingue du bleu de Prusse que par son mélange plus considérable avec l'indigo et le violet.

Lorsque la solution était délayée au 1/4 de sa concentration primitive, la lumière s'étendait de l'extrémité violette jusqu'à la division 68; mais dans l'orangé on remarquait une ombre encore plus foncée que dans le rouge situé plus vers la droite.

Solution d'indigo. — Dans l'expérience sur la solution concentrée, le rouge apparaissait entre 66 1/2 et 67 3/4, le bleu entre 55 1/2 et 60 1/4; l'espace compris entre la partie rouge, très-étroite, et la partie bleue, plus large, mais moins éclairée, était tout à fait sombre. A mesure que le délaiement augmentait, la partie bleue devenait plus large, surtout du côté de l'extrémité violette; sa largeur augmentait

Digitized by Google

plus vite que celle du rouge, qui croissait très-lentement quand le délaiement devenait plus considérable. En continuant à délayer jusqu'à 1/8, les deux espaces éclairés n'étaient plus séparés que par une ombre dans le jaune.

La couleur de la solution d'indigo diffère essentiellement par sa composition de la couleur de l'encre bleue. En expérimentant avec la solution concentrée d'indigo, le bleu n'arrivait pas jusqu'à la limite de l'indigo, tandis que sur le côté opposé l'espace éclairé s'étendait jusque dans le vert. Si donc on compare l'indigo avec l'encre bleue, on voit qu'il manque une portion du bleu proprement dit, portion remplacée par le vert; la couleur de l'indigo contient en outre du rouge.

La courbe correspondante au chrome alunisé ressemble à celle de l'indigo. Quand on se sert de solutions concentrées, on observe également deux espaces lumineux séparés par un espace sombre; plus tard, cet espace sombre ne se présente plus que comme une ombre qui occupe la limite entre le vert et le bleu. L'espace rouge est plus large que dans le spectre de l'indigo et s'étend surtout beaucoup plus loin vers l'extrémité rouge du spectre.

La teinture de laque produit, dans l'expérience avec la solution concentrée, une raie rouge dont la largeur n'augmente que très-peu avec le délaiement. Seulement, quand la solution est arrivée à 1/8 de sa concentration primitive, on observe dans le bleu un faible éclaircissement qui augmente ensuite en largeur.

L'encre verte occupe parmi les fluides verts un rang semblable à celui de la solution d'indigo parmi les fluides bleus; la solution concentrée donne du rouge et du vert près de la limite du bleu.

Les phénomènes qui s'observent dans l'expérience sur le chromate double de potasse sont très-remarquables. La solution la plus concentrée était encore tellement claire, que l'on ne devait pas attendre une absorption considérable. Cependant la décomposition prismatique fit disparaître toute lumière depuis le vert jusqu'à l'extrémité violette du spectre.

On n'observait que le jaune, l'orangé et le rouge, qui étaient aussi éclairés que si l'on n'avait interposé aucun fluide. La largeur de la partie lumineuse augmentait très-peu avec le délaiement du fluide.

Digitized by Google

Dans la solution concentrée, la lumière s'étendait de 63 à 69; délayée de 1/16, la lumière s'étendait de 61 à 70; avec un délaiement de 1/32 on commencait à observer une faible lueur au delà; mais avec un délaiement de 1/256 l'extrémité violette du spectre demeurait effacée.

Quant aux trois fluides rouges, nous remarquerons seulement que la solution éthérée du sulfo-cyanure de fer donnait une autre courbe que la solution aqueuse.

Pour mieux indiquer la nature des fluides mis en expérience, nous dirons que l'encre bleue, fig. 1, était une solution de cyano-ferrure, bleu de Paris, dans l'acide oxalique.

L'encre verte, fig. 3, était un sel d'oxyde de chrome.

Le carmin, fig. 2, était une solution ammoniacale de carmin.

M. Müller projette d'étendre ces expériences à d'autres substances colorées.

Il se réserve de faire plus tard la comparaison détaillée de ces phénomènes d'absorption avec les couleurs d'interférence, et de résoudre, s'il est possible, cette difficile question: Comment les couleurs naturelles peuvent-elles se déduire du principe des interférences?

Insérons encore quelques lignes dans lesquelles M. Müller rectifie quelques résultats de ses expériences, et répond aux objections de M. Erman.

Note sur l'optique, et réponse aux objections de M. Erman,
par J. MÜLLER.

« Depuis la publication de ma première note, j'ai appris que déjà avant moi on savait obtenir, à Paris et à Vienne, les raies de Fraunhofer sur un écran de papier, d'une manière beaucoup plus parfaite qu'on ne pourrait le faire d'après mes propres indications. Au lieu d'une seconde fente que j'avais placée en avant du prisme, on installe derrière le prisme une lentille convergente, d'un mètre au moins de distance focale, qui reçoit les rayons émergents; on place enfin l'écran à une distance de la lentille telle, qu'on verrait nettement l'image de la fente, si l'on se servait de lumière homogène.

Digitized by Google

» Il est évident que d'après cette méthode, le spectre entier est beaucoup plus intense que d'après la mienne, et que, par conséquent aussi, les raies se montrent plus nettement.

» M. de Wrede dit dans son Mémoire bien connu « sur l'explication du phénomène de l'absorption de la lumière, d'après la théorie des ondulations, » qu'à mesure que croît l'intensité de la couleur des vapeurs d'iode, on voit apparaître l'absorption complète de l'extrémité bleue du spectre; si cette intensité continue encore à augmenter, l'absorption, en partant de l'extrémité bleue, avance vers le rouge. Partout où ce phénomène est décrit, on dit la même chose, à savoir, que l'extrémité bleue du spectre est influencée et absorbée la première par l'action des vapeurs d'iode.

» M. Erman a répété ces expériences avec l'iode; mais lui aussi, comme tous ses prédécesseurs, n'a point remarqué la fausseté de l'opinion citée, ce qui du reste s'explique facilement par sa manière d'observer.

» Si, d'après ma méthode, le spectre est reçu sur un écran, et qu'on fasse passer la lumière, avant qu'elle tombe sur le prisme, à travers les vapeurs d'iode, on observe dans le vert une ombre qui devient plus sombre à mesure que l'intensité de la coloration des vapeurs d'iode augmente, et qui s'étend des deux côtés, principalement du côté de l'extrémité rouge. La très-grande intensité de coloration que j'avais donnée aux vapeurs d'iode, dans mes expériences, eut pour effet l'absorption complète de la partie intermédiaire du spectre, et nullement l'absorption des deux portions extrêmes.

» Il est évident qu'en observant avec une lunette on ne peut pas s'apercevoir de ce phénomène, parce qu'on ne voit à la fois qu'une partie du spectre. Cependant j'ai répété mon expérience en me servant d'une lunette, et je n'ai pas même vu de raies dans la partie violette extrême du spectre.

» Les espaces intermédiaires entre les raies noires augmentent vers l'extrémité violette du spectre. La loi de cette augmentation dépend essentiellement, de la nature du prisme qui produit le spectre : elle ne saurait être obtenue, comme je l'ai déjà dit, que par voie empirique.

» Enfin M. Erman s'oppose à ce que je dise que les distances entre

Digitized by Google

les raies augmentent en progression géométrique. Il ne niera pas au moins que cette hypothèse s'adapte aussi facilement à mes observations que sa loi aux siennes. Si M. Erman avait voulu démontrer la fausseté de cette hypothèse, déduite, il est vrai, seulement des observations sur un prisme spécial, il lui aurait fallu montrer qu'elle est en contradiction avec ses propres observations : voilà ce qu'il n'a pas voulu faire.

» Je suis bien loin de vouloir prétendre que ma loi de la progression géométrique soit d'une application générale, comme M. Erman me reproche de l'avoir dit. Il serait possible qu'elle n'eût lieu que pour certains prismes et non pour d'autres. Dans ce cas, il faudrait chercher pour ces derniers une autre loi empirique, ce qui peut bien se faire d'une manière beaucoup plus simple que celle employée par M. Erman. »

Sur les spectres des réseaux de Fraunhofer, et l'analyse de leur lumière. par M. MOSOTTI.

1. Les physiciens qui ont examiné le spectre solaire, dans le but de déterminer l'extension propre à chacune des couleurs qu'il contient, l'intensité de lumière en chacun de ses points, et les longueurs d'accès ou d'ondulation correspondantes, se sont en général servis du spectre formé par réfraction. Or, le spectre que l'on obtient par réfraction est un spectre nécessairement déformé. Les portions plus fortement réfrangibles sont allongées, les portions moins réfrangibles sont raccourcies, et il devient très difficile de reconnaître de cette manière les propriétés des parties composantes d'un rayon de lumière naturelle.

Newton, qui s'efforça le premier de déterminer les longueurs des espaces occupés par les sept couleurs les plus visibles du spectre, crut remarquer une analogie entre les longueurs de ces espaces et les intervalles des nombres qui expriment les valeurs des tons d'une octave musicale. Mais cette analogie est purement arbitraire : car les longueurs respectives des diverses portions colorées du spectre formé par réfraction varient avec la substance que l'on emploie. Ce fut précisément cette supposition que les diverses substances donnaient

Digitized by Google

des spectres parfaitement semblables, qui conduisit Newton à cette conclusion fausse, que l'achromatisme des lunettes dioptriques était impossible; l'expérience a démontré le contraire.

En poursuivant cette même analogie, Newton forma un cercle de couleurs, destiné à représenter l'image du spectre, indépendamment de l'allongement ou du raccourcissement produit par la réfraction sur les divers espaces colorés. Ce cercle donne, pour la couleur résultant du mélange ou de la superposition de plusieurs couleurs, des résultats assez exacts, mais sa construction repose sur un fondement hypothétique.

Newton enfin se servit de cette même analogie pour établir une loi qui lie entre elles les positions occupées dans le spectre par les diverses couleurs, et les longueurs d'accès correspondantes. Cette loi conduit à une relation remarquable, découverte d'abord par M. Blanc, développée par M. Biot, et qui consiste en ce que la longueur de l'accès d'un rayon coloré quelconque est proportionnelle à une puissance de 1/2, dont on obtient l'exposant en divisant par la circonférence entière du cercle de Newton les deux tiers de l'arc que cette couleur occuperait sur ce même cercle. Les valeurs que l'on déduit de cette relation pour les diverses portions du spectre s'éloignent sensiblement de la vérité pour les couleurs extrêmes.

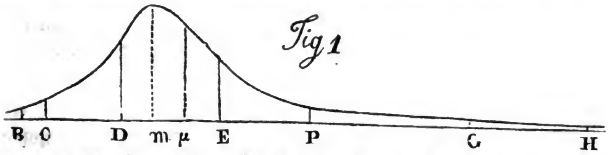
2. Il est un meilleur moyen de reconnaître la composition de la lumière ordinaire, et les relations qui existent, dans le vide ou dans l'air, entre les longueurs d'onde des rayons composants et les places que ces rayons occupent dans le spectre; ce moyen consiste dans l'emploi des spectres obtenus au moyen des réseaux, et qui ont été observés d'abord par Fraunhofer. Pour ces spectres, le seul élément qui entre dans leur formation est la longueur d'onde des différents rayons entrant dans la composition de la lumière ordinaire : là le phénomène se produit dans sa plus grande simplicité, sans les variations qu'amène la transmission des rayons à travers les milieux réfringents. On possède donc, dans le spectre des réseaux, un spectre normal auquel on peut rapporter les spectres variables produits par d'autres procédés.

Dans cette pensée, j'ai déduit des observations faites par Fraunhofer, avec une merveilleuse exactitude, les longueurs des diverses

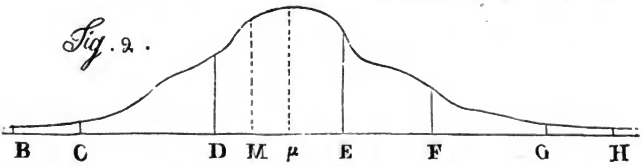
Digitized by Google

parties qui, dans le spectre des réseaux, correspondent aux intervalles principaux séparés par les lignes de Fraunhofer.

Ces lignes fournissent autant de points de repère auxquels on peut rapporter les différentes portions du spectre : on les a représentées à cet effet par les lettres B, C, D, E, F, G, H, et désignées sous le nom de raies. La fig. 2 représente un semblable spectre. Si on le



compare avec le spectre, fig. 1, que Fraunhofer a obtenu par ré-



fraction au moyen de son prisme de flint-glass, on voit quelle énorme différence existe entre l'extension des divers espaces colorés, et combien le spectre de réfraction est déformé ou déplacé. Les intervalles des raies dans le spectre des réseaux sont exprimés respectivement par les nombres

BC,	CD,	DE,	EF,	FG,	GH,
31	66	61	41	54	35

et, dans le spectre de réfraction, par les nombres

13	35	46	40	79	71.

3. Le spectre des réseaux se distingue par une propriété singulière. Dans le spectre formé par réfraction, spectre plus étendu, plus éclairé, et qui se prête beaucoup mieux à l'observation, Fraunhofer a déterminé l'intensité de la lumière pour les points voisins des raies principales; la courbe, fig. 1, représente, par ses ordonnées, l'intensité de lumière relative au point correspondant du spectre. La ligne ponctuée m, située entre D et E, a été tracée de manière à partager le spectre en deux parties telles, que la somme des quantités de lu-

Digitized by Google

mière soit égale de part et d'autre, ou de manière à diviser en deux moitiés la quantité totale de lumière du spectre. Si maintenant dans le spectre des réseaux on mène une ligne μ analogue à la ligne m, et partageant aussi la lumière en moitiés égales, cette ligne μ occupera cette fois le milieu du spectre. Cette simplicité dans le partage de la quantité de lumière est un caractère distinctif du spectre normal.

Dans le spectre prismatique, le maximum d'intensité lumineuse, qui correspond à l'ordonnée maximum de la courbe, coïncide avec la ligne m située aux 7 vingt-quatrièmes de l'espace DE compté de D vers E, et se trouve par conséquent à gauche de la ligne μ, vers l'extrémité la moins réfrangible du spectre. Si l'on remarque que de ce côté les intervalles des couleurs tendent à se resserrer de plus en plus, il ne sera pas difficile de voir que le maximum de lumière qui, dans le spectre normal, coïncide avec la ligne μ, tend vers D dans le spectre prismatique toutes les fois que les coordonnées de la courbe d'intensité suivent, dans leur décroissement, une loi plus lente que la loi suivant laquelle la réfraction des rayons devient moins intense de ce même côté. De fait, l'intensité lumineuse dans le spectre normal atteint son maximum au milieu de sa longueur; elle décroît symétriquement à droite et à gauche, de sorte que la loi de ses modifications peut être représentée par la courbe, fig. 2, symétrique par rapport à la ligne μ, et qui a cette ligne pour axe.

4. La proposition étudiée par Newton, et dont l'importance est évidente, sur le rapport existant entre la longueur des accès ou des ondulations, et la couleur correspondante, se trouve établie d'elle-même par la formation du spectre des réseaux. En réalité, de quelque manière qu'on le produise, les divers intervalles du spectre des réseaux croissent à peu près proportionnellement aux longueurs d'ondes des rayons correspondants. Concevons que la longueur de ce spectre soit divisée, comme la circonférence, en 360 parties, et désignons-la par 2π, soit φ une partie quelconque de 2π ; il résulte des données de l'observation, que la longueur d'onde λ_φ, du rayon correspondant à l'extrémité du rayon φ, compté à partir du point milieu, est donnée par la formule

$$\lambda_\varphi = 553,5 + 184,5 \frac{\varphi}{\pi} \ldots.$$

Digitized by Google

Dans cette formule, l'arc ou la distance est positive du côté du rouge, négative du côté de l'extrémité violette, et l'unité de longueur, pour la mesure des longueurs d'onde, est la millionnième partie du millimètre.

La formule, déduite de la relation que M. Leblanc a découvert en partant de l'hypothèse de Newton, est

$$\varphi = 511,6 \left(\frac{1}{2}\right)^{-\frac{\varphi}{3\pi}},$$

mais elle donne, pour des longueurs d'onde correspondantes aux extrémités du spectre, des valeurs très-différentes des longueurs observées. Si l'on fait dans la formule, d'abord $\varphi = -\pi$, puis $\varphi = +\pi$, on trouve

$$\lambda_{-\pi} = 269, \quad \lambda_{\pi} = 738.$$

Ces valeurs correspondent aux extrémités violettes et rouges du spectre, et comme la seconde valeur est deux fois plus grande que la première, il faut en conclure que la longueur d'onde du rayon rouge extrême est double de la longueur d'onde du rayon violet extrême, lorsque ces rayons extrêmes, comme Fraunhofer l'a fait, sont observés au moyen d'une lunette, et que l'on s'arrête au point où les couleurs sont encore visibles.

Si dans cette même formule on fait $\varphi = 0$, on a

$$\lambda_{\mu} = 553,5,$$

c'est-à-dire qu'au milieu du spectre, la longueur d'onde est égale à 553,5 millionnièmes de millimètre. Or, nous avons remarqué que ce point milieu correspond au maximum d'intensité ; si donc l'on admet qu'il y a dans chaque portion du spectre le même nombre de rayons, il faudra dire que la portion dans laquelle la longueur d'onde est égale à 553,5 millionnièmes de millimètre sont plus efficaces ou plus aptes à produire la sensation de la lumière, et que cette aptitude à la production de l'effet physiologique, désigné sous le nom de vision, diminue, soit que la longueur d'onde augmente, soit qu'elle décroisse, et qu'enfin elle est presque nulle, quand cette longueur d'onde a crû ou décrû du tiers de la longueur d'onde correspondante au maximum d'effet.

5. La simplicité de ces résultats nous amène à conclure que pour reconnaître le mode de partage et la nature des divers rayons qui

Digitized by Google

entrent dans la composition de la lumière solaire, il importe grandement de n'employer que les spectres donnés par les réseaux, parce que ce sont les seuls spectres normaux. Dans ce spectre, la lumière est symétriquement partagée à partir du milieu, et les relations entre les longueurs d'ondes des rayons et les distances au centre des points où apparaissent les couleurs correspondantes sont exprimées par une loi très-simple, déduite directement de l'expérience.

Dans la seconde partie de son Mémoire, M. Mosotti développe les preuves mathématiques des déductions énoncées dans la première partie. Nous emprunterons seulement à cette seconde partie quelques nombres qu'il importe de rappeler souvent. Fraunhofer, en observant avec son incomparable théodolite un spectre produit par les réseaux, trouva que les valeurs moyennes des longueurs d'ondulations correspondantes aux raies principales, et exprimées en millionnièmes de millimètre, étaient

B	C	D	E	F	G	H
688	656	589	526	484	429	393

M. Mosotti conclut des observations de Fraunhofer que les rapports des intensités lumineuses, pour les mêmes points, sont exprimés par les nombres suivants

B	C	D	E	F	G	H
9054	30851	294375	315787	145931	39316	9471

Si, comme l'a fait Newton, on voulait comparer les valeurs des longueurs d'onde correspondantes aux raies principales, avec les valeurs des tons de l'échelle diatonique, on trouverait, en partant, d'une part, du son ut[1], dont la longueur d'ondulation serait prise pour unité, de l'autre, d'un point A, pour lequel la longueur d'ondulation serait 738, et prenant pour unité de longueur d'onde 1/738, que les longueurs d'ondes correspondantes aux divers sons de la gamme diatonique, et aux intervalles

1, 17/25, 9/8, 5/4, 4/3, 25/18, 3/2, 5/3, 13/8, 2,

devraient être

738 ; 688,13 ; 656 ; 590 ; 553,5 ; 531 ; 492 ; 443 ; 393,5 ; 369 ;

tandis que les longueurs d'onde pour les raies principales sont

B	C	D	μ	E	F	G	H	I
688	656	589	553,5	526	484	429	393	369

Il résulte de cette comparaison que l'accord est parfait pour les

Digitized by Google

lignes C, D, H, qui correspondent parfaitement aux sons *ré*, *mi*, *si* Pour les autres raies, l'accord n'existe qu'approximativement. Les différences sont assez petites, il nous semble, pour que M. Mosotti pût conclure à une analogie réelle entre les couleurs et le son. Le savant Italien fait très-bien ressortir une singularité frappante, c'est que l'accord existe précisément pour les bandes dont les longueurs d'ondulation sont exprimées par des fractions dont les dénominateurs sont essentiellement pairs, 4, 8, etc., et dont les numérateurs sont impairs. Ce fait ne vient-il pas à l'appui de l'hypothèse qui attribue les raies du spectre aux interférences?

Si l'on prend pour unité la longueur du spectre prismatique de Newton, et que l'on place l'origine des coordonnées en un point extérieur situé à la distance 1 de l'extrémité rouge, les abcisses des limites auxquelles s'arrêtent les diverses couleurs sont données par les nombres suivants :

$$1,\ \frac{9}{8},\ \frac{6}{5},\ \frac{4}{3},\ \frac{3}{2},\ \frac{5}{3},\ \frac{16}{9},\ 2.$$

9/8 correspondant au rouge, et 2 au violet. Les longueurs des accès correspondant aux couleurs de ces limites ont pour valeur, d'après Newton,

$$(1)^{\frac{2}{3}}\quad \left(\frac{8}{9}\right)^{\frac{2}{3}},\ \left(\frac{5}{6}\right)^{\frac{2}{3}},\ \left(\frac{3}{4}\right)^{\frac{2}{3}},\ \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{2}{3}},\ \left(\frac{3}{5}\right)^{\frac{2}{3}},\ \left(\frac{9}{16}\right)^{\frac{2}{3}},\ \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Il en résulte toujours, dans les idées de Newton, que les largeurs des diverses couleurs ou les arcs qu'elles occupent sur le cercle divisé sont respectivement proportionnelles aux nombres

$$\frac{1}{9},\ \frac{1}{16},\ \frac{1}{10},\ \frac{1}{9},\ \frac{1}{10},\ \frac{1}{16},\ \frac{1}{9},$$

Les arcs compris entre l'origine et la fin du rouge, le rouge et la fin de l'orangé, etc., seront dès lors respectivement

60°,45′; 34°,11′; 54°,41′; 60°,46; 54°,41′; 34°,11′; 60°,45′.

Le spectre représenté par ce cercle, si on l'étendait en ligne droite, serait le spectre normal de Newton. Il aurait son centre au milieu du vert; les couleurs seraient symétriquement disposées des deux côtés, et les longueurs des accès des rayons appartenant à des couleurs également distinctes du centre satisferaient, à très-peu près, à la con-

Digitized by Google

dition remarquée d'abord par M. Blanc ; c'est-à-dire que leur produit serait constant et égal à $\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{2}}$, qui conduit à l'équation

$$\lambda_\varphi = 511,6 \left(\frac{1}{2}\right)^{-\frac{1}{3}\frac{\varphi}{\pi}}$$

qui donne, en millionnièmes de millimètre, la longueur d'accès λ correspondante à l'arc φ, compté à partir du milieu, et pris positivement du côté du rouge.

Il n'aura pas été inutile de grouper encore une fois les relations qui, dans l'hypothèse de Newton, lient entre eux les divers éléments du spectre.

Idées relatives à une classification des couleurs, par le professeur J.-D. FORBES.

Décrire et classer les couleurs n'est pas chose aussi facile qu'on le pense. Pour mener cette entreprise à bonne fin, il faudrait mieux connaître qu'on ne l'a fait jusqu'ici les causes de la couleur des corps naturels, artificiels, etc. Le but que M. Forbes a voulu atteindre, c'est la formation d'une échelle de couleurs modèles, de couleurs types, à laquelle on puisse comparer toutes les nuances et toutes les teintes données par la nature ou employées par les arts. Il a été surtout aidé dans ce travail par l'ingénieux essai du célèbre Lambert, essai publié en 1772, sous ce titre : « Description d'une Pyramide de couleurs peintes. »

Pline, en énumérant les matières colorantes employées par les plus célèbres peintres, n'en cite que quatre : le blanc, l'ocre jaune, le rouge, et le noir ; il faudrait donc admettre qu'on produisait une sorte de teinte bleue avec le blanc et le noir.

Léonard de Vinci, éminemment habile au point de vue de la composition et de la formation des couleurs, compte six teintes fondamentales : le blanc, le jaune, le vert, le bleu, le rouge et le noir. Il n'ignorait cependant pas que le vert s'obtient par le mélange du jaune et du bleu. Il admettait pour couleurs principales le rouge, le jaune

Digitized by Google

et le bleu, et disait que le mélange de ces couleurs, soit entre elles, soit avec du noir et du blanc, devait donner toutes les teintes imaginables.

Waller aussi, dans les *Transactions philosophiques*, pour 1686, a essayé une classification des couleurs et des matières colorantes, fondée sur ce même fait, alors universellement admis, que les seules couleurs primitives sont le rouge, le jaune et le bleu.

La découverte de la composition de la lumière blanche par Newton fit faire un grand pas à la théorie des couleurs. Il faut regretter cependant que Newton, entraîné par un certain amour pour le chiffre sept, et séduit par l'analogie qu'il croyait pouvoir établir entre les intervalles musicaux et les intervalles de la gamme des couleurs, ait distingué l'indigo du bleu ; son spectre n'aurait dû comprendre que six couleurs : trois principales ou primitives, le rouge, le jaune et le bleu ; trois couleurs secondaires, l'orangé, le vert et le violet. Quoique Newton sût très-bien qu'en combinant deux ou plusieurs rayons colorés, on obtient des couleurs qui ne diffèrent de celles du spectre que par la réfrangibilité, il ne semble pas qu'il ait essayé de former de la lumière blanche par la combinaison d'un certain nombre de rayons du spectre.

Aucun opticien n'ignore la règle empirique, posée par Newton, pour l'estimation de la couleur produite par l'ensemble d'un nombre quelconque de couleurs élémentaires du spectre, mêlées dans des proportions quelconques. Il part d'un cercle dont le centre est blanc, et dont la circonférence présente toutes les couleurs successives du spectre, et chacune de ces couleurs occupe un arc proportionnel à sa longueur dans le spectre. Si le rouge commence au point 0°, l'orangé commencera à 60° 4′, le jaune à 94° 57′, le vert à 149° 38′, le bleu à 210° 23′ ; l'indigo à 265° 4′, le violet à 299° 15′ jusqu'au contact du rouge. On fait ensuite passer chacune de ces couleurs par l'addition successive de blanc, de son développement le plus intense, vers la circonférence, à son maximum de lavage au centre, où elle n'est plus que du blanc. Quand ce cercle est construit et qu'on veut, par exemple, trouver l'effet produit par un mélange de deux parties de vert, d'une partie de rouge et d'une partie de violet, des points milieux des espaces vert, rouge, violet, pris sur la circonférence, on décrit

Digitized by Google

trois cercles dont les surfaces soient entre elles dans les rapports 2, 1 et 1, puis on cherche le centre de gravité commun de ces trois cercles; ce centre de gravité, par le point avec lequel il coïncidera, indiquera la couleur résultant du mélange.

Cette construction n'est qu'une représentation grossière du phénomène; l'adjonction de l'indigo la complique et la vicie même; ainsi, par exemple, on devrait conclure de la règle donnée par Newton que le mélange de deux couleurs ne donnerait jamais du blanc pur. Newton, il est vrai, affirme quelque part que, même en employant deux couleurs empruntées au spectre solaire, il ne reproduisait pas du blanc; mais ces expériences auraient besoin d'être répétées.

Newton encore essaya de reproduire le blanc et les autres couleurs avec des mélanges de poudres colorées; mais le blanc obtenu se montra toujours gris, et le grand physicien rendit parfaitement compte de ce résultat en remarquant que les poudres colorées absorbent, dans sa théorie, une grande quantité de la lumière qui les éclaire. M. Forbes explique mieux encore la différence entre la couleur résultant du mélange des rayons pris dans le spectre et les couleurs résultant des mélanges des matières colorantes. Dans le premier cas, quand on projette sur un écran blanc toutes les couleurs du spectre, chacune de ces couleurs est réfléchie avec une égale vivacité, l'éclat de l'écran est bien la somme des éclats dus aux différents rayons: quand on opère, au contraire, sur des matières colorantes combinées, ce ne sont plus des lumières qui s'ajoutent; il s'agit plutôt de constituer un fond ou écran multiple capable de disperser en nombre convenable et suffisant les parties constituantes du rayon de lumière blanche qui l'éclaire, en absorbant les autres. N'est-il pas évident que dans ce dernier cas il doit y avoir un certain degré d'assombrissement ou une transformation du blanc en gris?

Ajoutons encore à cette première observation le fait découvert par Lambert, que le pouvoir réfléchissant des diverses matières colorantes est loin d'être le même. La surface blanche la plus brillante et le jaune de roi réfléchissent quatre dixièmes au plus de la lumière qui les éclaire; le plus beau rouge, le cinabre, un tiers; le

Digitized by Google

bleu de Berlin, un septième seulement. Pour obtenir donc du cercle de Newton des résultats exacts, il faudrait donner aux espaces colorés des étendues en raison inverse des nombres qui expriment leur pouvoir réfléchissant. En supposant ce pouvoir égal, il faudrait, pour produire du blanc, 0,386 de rouge, 0,418 de jaune, 0,418 de bleu ; et en tenant compte de l'inégalité signalée par Lambert, il faudrait 1,157 de rouge, 490 de jaune, et 2,297 de bleu. M. Forbes en conclut que la lumière blanche obtenue par la réflexion des trois espaces colorés est de la lumière blanche dont l'intensité est diminuée dans le rapport de 1 à 4,57, tandis que la lumière blanche, réfléchie par le papier blanc, n'est affaiblie que dans le rapport de 1 à 2,50. Ce simple calcul rend parfaitement compte de la teinte grise résultant de la règle de Newton. Pour obtenir réellement du blanc, il faudrait, comme Field l'a reconnu, que les surfaces du rouge, du jaune et du bleu, fussent dans les rapports de 5 à 3 et à 8.

Le célèbre mathématicien Mayer a le premier construit un diagramme complet et aussi parfait que possible des couleurs mélangées, en les considérant comme formées de rouge, de jaune et de bleu. Il place ces couleurs primitives aux angles de son triangle, en leur donnant une intensité commune représentée par 8 : le jaune occupe le sommet, le rouge l'angle de gauche, et le bleu l'angle de droite. Le triangle est partagé en 9 bandes ; chaque bande contient un nombre de divisions qui va en augmentant de 1 jusqu'à 9 : 1re *bande*, jaune ; 2e *bande*, 7 J. 1 R., 7 J. 1 B. ; 3e *bande*, 6 J. 2 R., 6 J. 1 R. 1 B., 6 J. 2 B. ; 4e *bande*, 5 J. 3 R., 5 J. 2 R. 1 B., 5 J. 1 R. 2 B., 5 J., 3 B ; 5e *bande*, 4 J. 4 R., 4 J. 3 R. 1 B., 4 J. 2 R 2 B., 4 J. 1 R. 3 B., 4 J. 4 B. ; 6e *bande*, 3 J. 5 R., 3 J. 4 R. 1 B., 3 J. 3 R. 2 B., 3 J. 2 R. 3 B., 3 J. 1 R. 4 B., 3 J. 5 B ; 7e *bande*, 2 J. 6 R., 2 J. 5 R. 1 B., 2 J. 4 R. 2 B., 2 J. 3 R. 3 B., 2 J. 2 R. 4 B., 2 J. 1 R. 5 B., 2 J. 6 B. ; 8e *bande*, 1 J. 7 R., 1 J. 6 R. 1 B., 1 J. 5 R. 2 B., 1 J. 4 R. 3 B., 1 J. 3 R. 4 B., 1 J. 2 R. 5 B., 1 J. 1 R. 6 B., 1 J. 7 B. ; 9e *bande*, enfin, 8 R., 7 R. 1 B., 6 R. 2 B., 5 R. 3 B., 4 R, 4 B., 3 R, 5 B., 2 R. 6 B., 1 R. 7 B , 8 R.

L'unité de masse pour chaque couleur primitive ou chaque ma-

Digitized by Google

tière colorante est la proportion dans laquelle chacune doit être mélangée aux deux autres couleurs primitives; pour donner un gris parfaitement neutre, il faut déterminer ces proportions par expérience. Lambert trouva que pour réussir, il fallait employer en poids 1 de carmin, 10 de jaune de Camboge, 3 de bleu de Berlin.

M. Forbes démontre facilement que le triangle de Mayer est loin de former une échelle complète de couleurs; Mayer n'avait tenu aucun compte des pouvoirs réfléchissants, très-inégaux, des diverses couleurs; et par conséquent, suivant que son triangle sera éclairé par une lumière trop vive ou trop faible, les proportions des couleurs seront changées, quelques-unes se perdront noyées dans un flot de lumière blanche, ou par trop assombries.

Abordons maintenant une autre question. Combien peut-on intercaler de nuances composées ou mélangées entre deux couleurs simples ou primitives, sans que l'œil cesse de les distinguer l'une de l'autre par une simple comparaison? Le nombre est beaucoup plus petit qu'on ne le suppose. Lambert affirme que du noir absolu au blanc parfait on ne peut tracer que trente teintes intermédiaires que l'œil puisse distinguer dans les circonstances les plus favorables possible. Le nombre des gradations de teintes visibles pour les couleurs les plus simples et les plus positives est probablement beaucoup moindre, et celui des couleurs neutres encore plus petit.

Mayer affirme que la distinction des couleurs mélangées est facile tant que la somme des parties composantes en chaque point ne surpasse pas 12; ce qui le conduisait à composer son échelle de 819 couleurs; mais ce nombre paraîtra réellement trop petit, si l'on fait attention au nombre infini de teintes et d'ombres que l'on rencontre dans la nature. Lambert a modifié les triangles superposés de Mayer, en diminuant leur surface à mesure que les couleurs principales sont plus lavées de blanc ou assombries de noir. Il a obtenu ainsi une double pyramide dont la base commune est le triangle de Mayer; les couleurs, d'un côté, vont se perdre dans le blanc, de l'autre, dans le noir. En donnant treize éléments à chaque côté de la base, la double pyramide offrirait neuf cent dix éléments constituant l'échelle chromatique de Lambert.

M. Forbes arrive ensuite aux travaux plus récents, et entre dans l'assez longs détails sur la *nomenclature des couleurs*, par M. Hay,

Digitized by Google

ouvrage remarquable par la vivacité des teintes, par leur dégradation savante, l'harmonie et le contraste des couleurs. Les teintes primitives de M. Hay sont le rouge ou carmin, le jaune de chrome et le bleu d'outre-mer français; ses teintes ont été faites, non au poids, mais à l'œil, ce qui n'est peut-être pas une imperfection. Les réflexions critiques sur la nomenclature de M. Hay ne peuvent être comprises que des lecteurs qui ont ses tableaux sous les yeux ; nous ne nous y arrêterons donc pas. Nous dirons seulement que cet examen a conduit M. Forbes à la conclusion suivante : Toutes les combinaisons des trois couleurs primitives peuvent être représentées, en tant qu'il s'agit des différences de qualités, par des transitions successives et insensibles des couleurs primitives et secondaires au gris.

En partant de ce principe, on peut arriver à une classification des couleurs qui, quoique redondante en certaines parties, a l'avantage de montrer nettement la composition de chaque teinte, et de donner naissance à une nomenclature plus nette et plus facile que celle de M. Hay. Le diagramme des couleurs de M. Forbes peut se mettre en tableau quadrangulaire, et être ainsi compris sans figure. Les couleurs chefs de file conservées par lui sont au nombre de six : le rouge, l'orange, le jaune, le vert, le bleu et le violet. Chacune de ces couleurs, mêlée à la suivante, donne naissance à trois nuances secondaires qui sont, par exemple : pour le rouge, rouge orangeâtre, rouge orange, orange rougeâtre ; pour le jaune, jaune verdâtre, jaune vert, vert jaunâtre ; pour le violet, violet rougeâtre, violet rouge, rouge violâtre. Enfin, chacune des couleurs principales ou secondaires, mêlée à du gris, donne cinq nuances graduées qui sont, par exemple : pour le rouge, rouge grisâtre, gris rouge, rouge gris, gris-rougeâtre, gris. Six teintes neutres ressortent parfaitement dans ce tableau et sont : 1° le roux, intermédiaire entre le rouge et le gris, ou à égale distance du rouge et du gris ; 2° le brun, intermédiaire entre l'orangé et le gris ; 3° le citron, intermédiaire entre le jaune et le gris ; 4° le pistache, intermédiaire entre le vert et le gris ; 5° l'olive, intermédiaire entre le bleu et le gris ; 6° l'ardoise, intermédiaire entre le violet et le gris.

Le diagramme de M. Forbes a été composé sur sa demande par M. Hay ; mais le physicien écossais aspirait à le réaliser avec des matériaux colorés indestructibles, en porcelaine ou en émail. Son

Digitized by Google

souvenir alors se reporta sur la magnifique collection des émaux colorés du Vatican, qui a servi à la confection des incomparables mosaïques de la basilique de Saint-Pierre, de Rome, où l'on voit reproduits avec tant de perfection les chefs-d'œuvres de Raphaël, du Dominiquin, etc. — Un artiste éminent, Matteoli, avait fabriqué ces émaux au nombre de 18,000 teintes et nuances; c'était énorme, mais il est bien à craindre que ce nombre ne soit actuellement très-réduit.

M. Forbes, mettant à contribution l'amitié que lui avait témoignée monseigneur de Medici Spada, a voulu se procurer une collection d'échantillons des émaux du Vatican, mais il n'a obtenu que neuf cent quarante-un échantillons, et il a été fort désappointé en voyant qu'un très-grand nombre des couleurs primaires et secondaires, les plus vives, les plus brillantes, manquaient à l'appel, tandis qu'il y avait surabondance de couleurs indéfinies, de teintes incertaines, etc. Il espère être bientôt plus heureux.

Chromascope de M. Soleil. — Notre habile opticien a réalisé tout récemment un appareil bien simple, bien commun en apparence, mais qui, par sa simplicité même, rendra beaucoup plus facile l'étude des faits principaux relatifs à la décomposition de la lumière et au mélange des couleurs. Cet appareil, que nous baptiserons, jusqu'à nouvel ordre, du nom de *chromascope*, se compose de six verres colorés, rouge, orange, jaune, vert, bleu et violet, choisis avec le plus grand soin parmi des milliers d'échantillons, de manière à reproduire le moins imparfaitement possible les six nuances principales du spectre solaire. Les verres sont montés, comme les lentilles d'un biloupe ou d'un triloupe, dans des anneaux circulaires en corne, tournent autour d'un axe commun, et se replient dans une chappe commune comme les deux verres d'un lorgnon.

Pour bien comprendre la pensée de M. Soleil, et reconnaître dans son petit instrument les qualités essentielles qu'il lui attribue, il faut d'abord poser deux principes fondamentaux. Le premier de ces principes consiste à admettre formellement que le gris et le noir ne sont pas des couleurs essentielles, mais uniquement un blanc moins éclairé, ou un blanc qui a tellement perdu de sa clarté qu'il est peu visible ou même invisible. M. Soleil, pour se mieux faire compren-

Digitized by Google

dre, a recours à une comparaison que tout le monde saisira. Supposons qu'un peintre attentif ait reproduit, avec un mélange de blanc et de noir, la teinte d'une feuille de papier très-blanc, telle qu'elle apparaît en plein air, à cinq heures du soir, depuis le 21 juin jusqu'au 21 décembre; cette même feuille de papier aurait ainsi donné naissance à une série de nuances depuis le blanc le plus éclatant jusqu'au noir le plus sombre, et n'aurait pas cessé, en réalité, d'être du blanc très-éclairé, moins éclairé, peu éclairé, nullement éclairé.

Poussant à ses dernières limites cette comparaison certainement vraie, M. Soleil affirme que si le noir était visible, il serait visible comme blanc plus ou moins intense.

Nous adoptons pleinement cette manière de voir à laquelle le célèbre physicien Charles, dont M. Soleil suivit les leçons, attachait la plus grande importance. On ne sera donc pas surpris de retrouver du gris là où la théorie et l'expérience, si elle avait pu être parfaite, annonçait ou devait donner du blanc que l'absorption inévitable a transformé en blanc moins éclairé; l'essentiel est que l'on n'aperçoive aucune couleur sensible là où les nuances doivent se neutraliser.

Le second principe qu'il faut poser, c'est que Newton a eu grand tort de céder aux idées théoriques qui lui ont fait distinguer dans le spectre et désigner d'un nom particulier la nuance indigo. Cette septième couleur brouille tout, et fait disparaître complétement la symétrie et les lois qui sont la conséquence de la symétrie. Il importe grandement que toutes les couleurs qui ont reçu un nom particulier aient leur couleur complémentaire, séparée, elle aussi, des innombrables nuances que l'œil peut distinguer; or, l'indigo n'a pas de couleur complémentaire parmi les couleurs classées et désignées par une dénomination spéciale : donc il faut bannir l'indigo de l'échelle fondamentale des couleurs, et le reléguer parmi les nuances innommées. C'est, comme on l'a vu, ce qu'a fait M. Forbes, le célèbre professeur d'Edimbourg.

Ces principes posés, voici les faits ou les lois que le chromascope de M. Soleil met en évidence :

1° Les six verres superposés, ou l'ensemble des six couleurs fondamentales donnent du blanc. Comme l'absorption des six verres réunis est énorme, le blanc paraîtra noir si on regarde une lumière

Digitized by Google

très-faible, la lumière d'un jour sombre; gris obscur avec la lumière d'une lampe; gris clair avec la lumière de Drummond ou la lumière électrique; blanc pur, si à travers cet ensemble on regarde le soleil éclatant.

2° Des six couleurs du chromascope trois sont ordinairement considérées comme couleurs principales ou primitives : ce sont le rouge, le jaune et le bleu ; les trois autres prennent le nom de couleurs secondaires ou consécutives : ce sont l'orangé, le vert, le violet. Mais, qu'on le remarque bien, il y a loin de cette classification plus ou moins arbitraire à la théorie de M. Brewster, qui veut que toutes les couleurs du spectre, à l'exception du rouge, du jaune et du bleu, soient composées en elles-même et de fait, aux points ou elles apparaissent dans le spectre, parce que le spectre, suivant lui, serait la superposition des trois couleurs principales. Nous avons vivement combattu cette théorie, et M. Soleil, la repoussant avec nous, reconnaît que les couleurs secondaires en elles-mêmes et dans le spectre sont aussi simples que les couleurs primitives, aussi bien définies par leur réfrangibilité propre et leur longueur d'ondulation.

3° Les couleurs principales, superposées de deux en deux, rouge et jaune, rouge et bleu, jaune et bleu, donnent des nuances ou couleurs très-semblables aux couleurs secondaires, orangé, vert, violet, comme on peut s'en assurer en regardant une lumière vive à travers les deux verres rouge et jaune, et le verre orangé; à travers les deux verres rouge et bleu, et le verre violet; à travers les deux verres jaune et bleu, et le verre vert; la différence, quand elle existe, n'est due qu'à l'absorption, à une addition de gris.

4° Réciproquement, les couleurs secondaires, superposées deux a deux : orangé et violet, orangé et vert, vert et violet, donnent des nuances ou couleurs très-semblables aux couleurs principales, rouge, jaune, bleu ; on s'en assure de la même manière, mais ici l'absorption joue un rôle beaucoup plus grand encore.

5° Les trois couleurs principales superposées donnent du blanc; il en est de même des trois couleurs secondaires mélangées, et par-conséquent de l'ensemble des six couleurs, comme nous l'avons déjà remarqué.

6° Prises deux à deux, à trois rangs de distance, rouge et vert,

Digitized by Google

ou 1 et 4, orangé et bleu, ou 2 et 5, jaune et violet, ou 3 et 6, les six couleurs donnent encore du blanc. Ces couleurs, qui, superposées, donnent du blanc, sont précisément les couleurs complémentaires : ainsi le vert est complémentaire du rouge, le bleu de l'orangé, le violet du jaune, et réciproquement. L'on peut dire encore que, si l'on divise le chromascope en deux groupes de trois couleurs, rouge, orangé, jaune ; vert, bleu, violet, chaque couleur du premier groupe sera la couleur complémentaire de la couleur correspondante du second groupe ; ou bien encore, si après avoir fait un groupe des trois couleurs principales on isole tour à tour une de ces couleurs, les deux couleurs restantes superposées donnent la teinte complémentaire de la couleur isolée ; ainsi le rouge et le jaune donnent de l'orangé, couleur complémentaire du bleu ; le rouge et le bleu donnent le violet, couleur complémentaire du jaune ; le bleu et le jaune donnent le vert, couleur complémentaire du rouge. La même chose a lieu pour les trois couleurs secondaires.

7° Si, tenant les six couleurs réunies, on les élimine tour à tour une à une, les cinq couleurs restantes superposées donneront la teinte complémentaire de la couleur éliminée ; ce fait évident *à priori* est immédiatement constaté par le chromascope.

8° Enfin, ce joli appareil permet de répéter une expérience curieuse sur laquelle nous reviendrons plus tard. On prend deux couleurs complémentaires, on les rapproche, et retournant l'appareil, on fait avec ces deux verres des lunettes pince-nez, composées tour à tour de deux verres très-dissemblablement colorés, rouge et vert, orangé et bleu, jaune et violet, et l'on est tout étonné, en regardant un papier blanc, de le voir avec sa blancheur ordinaire, sauf un peu de gris, quoique des deux yeux l'un voie le papier d'une couleur et l'autre de la couleur complémentaire. Pour que cette expérience réussisse pleinement, il faut que la vision soit parfaitement égale pour les deux yeux et que les axes optiques coïncident : si l'un des yeux était plus clairvoyant que l'autre, ou si le parallélisme des deux axes optiques était détruit, les deux couleurs ne se neutraliseraient pas.

Ce que nous venons de dire suffit pour montrer le parti que l'on peut tirer du chromascope, appareil nécessaire à tous les cabinets et

Digitized by Google

à tous les cours ; nous n'entrerons dans aucun détail sur le mélange des couleurs.

La note originale de M. Ernest Brücke, en démontrant l'existence du brun, remplit une lacune; il fallait que le gris-lavande de M. Herschel, couleur désignée par un nom particulier, trouvât enfin sa couleur complémentaire.

De l'existence de la couleur brune, par M. ERNEST BRUCKE.

Le brun manque dans le spectre prismatique, et ses rapports avec les couleurs de ce spectre sont encore inconnus. Tout le monde cependant, dit M. Brücke, peut se convaincre aisément que le brun n'est rien autre chose que la couleur complémentaire des rayons que M. Herschel a appelés gris-lavande, ou la couleur que donne la lumière blanche quand on lui a enlevé les rayons gris-lavande. Pour le démontrer, on prépare une lame de gypse, chaux sulfatée cristallisée, de telle sorte que sur un bord elle soit aussi mince que possible, et qu'à partir de ce bord l'épaisseur augmente graduellement, par larges gradins, comme une terrasse. On place une de ces lames sous un microscope muni de deux prismes de Nicol, l'un au-dessous de l'objectif, l'autre dans l'oculaire, et on la dispose de telle manière que les prismes étant parallèles, et le pouvoir grossissant linéaire d'environ 20 diamètres, à une distance de huit pouces, le bord le plus mince soit dans le champ de la vision. Si réellement ce bord est assez mince, il paraîtra tout à fait incolore; mais à mesure qu'on fait arriver dans le champ une couche de plus en plus épaisse, on voit naître une teinte brune semblable à celle que laisse passer ou transmet une plaque très-mince de corne ; peu à peu ce brun devient plus foncé et prend enfin une couleur intense brun-noisette sans mélange d'aucune des couleurs ordinaires du spectre que présentent les portions les plus épaisses de la lame. Il est évident que la lame, au bord où elle paraît incolore est si mince, que la différence de marche du rayon ordinaire et du rayon extraordinaire, à leur sortie, ne s'élève pas à la moitié de la longueur d'onde correspondante à une couleur quelconque. Il ne pourrait donc pas y avoir encore intervention des rayons réfractés connus : ceux-ci n'apparaissent que lorsque l'épaisseur de la lame est devenue plus grande,

Digitized by Google

et la couleur brune ne peut être produite, par conséquent, que par l'absence des rayons gris-lavande de la lumière composée. L'exactitude de cette conclusion est facile à vérifier. En plaçant les prismes à angle droit, on voit que, tandis que toutes les autres couleurs de la lame sont remplacées par leurs couleurs complémentaires bien connues, la portion qui s'était montrée précédemment brune se colore en gris-lavande, et l'intensité de cette couleur est proportionnelle à l'intensité du brun précédemment observé au même point.

Il est bon peut-être de rapprocher des phénomènes de la dispersion ordinaire certains faits de dispersion ou de diffusion lumineuse, étudiés, dans ces dernières années, avec plus de soin, par MM. Brewster, Dupasquier et Haidinger.

Nous empruntons à la *Bibliothèque universelle de Genève* la traduction d'un mémoire important de M. Brewster, sur un sujet peu exploré encore.

Sur la décomposition et la dispersion de la lumière dans l'intérieur des corps solides et fluides, par SIR DAVID BREWSTER.

« Haüy et d'autres minéralogistes ont observé les deux couleurs qui se voient dans diverses variétés de spath-fluor. Le célèbre minéralogiste regardait les deux teintes comme complémentaires, et les expliquait, ainsi que tous les phénomènes semblables, par analogie avec les couleurs des plaques minces. En décrivant une espèce de diochroïsme indiqué par le docteur Prout dans les purpurates d'ammoniaque et de potasse, sir J. Herschel attribue la couleur verte réfléchie à une conformation particulière des surfaces vertes, produisant ce qu'on pourrait nommer une *couleur superficielle*, analogue à celle des plaques minces et des surfaces striées et ponctuées. Puis il ajoute : « On trouve un exemple remarquable de cette couleur superficielle, différente des teintes transmises, dans le fluor d'Alston-Moor, dont les surfaces naturelles ou artificielles montrent, sous des illuminations convenables, une teinte d'un bleu foncé qu'aucun polissage ne fait disparaître. M. Brewster ayant observé, il y a plusieurs années, la même propriété dans les fluors du Derby-shire, il l'étudia avec une attention spéciale, et communiqua ses résultats, en 1838, à l'Association britannique réunie à Newcastle. Il trouva que, dans tous les échantillons où elle existe, cette cou-

Digitized by Google

leur est due à une réflexion *intérieure* et nullement *superficielle.* » Cette même propriété de dispersion intérieure a été observée dans trente ou quarante solutions diverses de la matière colorante des végétaux dans l'eau ou l'alcohol. Les solutions les plus remarquables s'obtiennent avec les feuilles du laurier commun, traitées à l'esprit de vin. D'abord d'un vert brillant, elle passe à une belle couleur olive; mais dans tous ses degrés, elle disperse une lumière d'un rouge de sang vif, qui contraste d'une manière frappante avec la teinte transmise. Après une longue exposition à la lumière, cette teinte disparaît presque entièrement, tandis que la lumière dispersée conserve sa couleur rouge. Un autre exemple de dispersion intérieure se trouve dans la solution alcaline ou alcoholique d'une poudre résineuse produite par l'orcine mise en contact avec l'oxygène atmosphérique. Brun-rougeâtre par transmission, elle renvoie un vert excessivement riche par réflexion.

» Depuis que ces expériences ont été faites, mon attention, dit M. Brewster, a été excitée par deux intéressants mémoires de sir John Herschel, publiés dans les *Transact. philos.* pour 1845; l'un, *sur un cas de couleurs superficielles, présenté par un liquide homogène intérieurement incolore;* l'autre, *sur la dispersion épipolique*, ou superficielle, *de la lumière.* Ces deux mémoires se rapportent principalement aux phénomènes de dispersion colorée, tels que les présente une solution étendue de sulfate de quinine dans de l'acide sulfurique faible. Comme la solution est à peu près incolore par transmission, le phénomène général est très-beau. La ligne de lumière bleue brillante, dispersée par la couche de fluide qui est immédiatement au-dessous de la surface d'incidence, et qui a environ 1/50 de pouce d'épaisseur, paraît être limitée à cette couche; et c'est à cet égard seulement que le phénomène diffère de celui que présentent le fluor et les solutions végétales. Voici le résultat de mes recherches nouvelles sur l'ensemble de ces singulières apparences.

Sur la dispersion intérieure du spath-fluor.

» Il y a un grand nombre de variétés de ce minéral, par lesquelles la lumière n'est point dispersée : telles sont les variétés jaunes, rouges, bleues brillantes; au contraire, l'effet a lieu principalement dans le fluor vert d'Alston-Moor et dans quelques variétés roses et jaunes-

Digitized by Google

bleuâtres du Derby-shire. Afin d'observer les phénomènes de la dispersion le plus distinctement possible, je fais passer un *rayon condensé* de lumière solaire à travers l'échantillon, après l'avoir partiellement couvert de cire ou de velours noir. Dans quelques cas, le rayon se disperse en partie avec une belle teinte bleue, à partir de chaque portion du solide qu'il traverse; mais dans d'autres échantillons, composés de couches différemment colorées et parallèles aux faces du cube, le phénomène est très-différent. Le faisceau de lumière introduit est croisé par des bandes de lumière dispersée, dont les teintes et les intensités diffèrent beaucoup. Dans certain cristal, la lumière rose était dispersée par la couche immédiatement au-dessous de la couche d'incidence; la couche suivante ne produisait *aucune dispersion;* la troisième, qui était mince, dispersait une lumière d'un *blanc brillant;* venait ensuite une couche non dispersante, puis alternativement d'autres couches avec ou sans dispersion, et qui faisaient jaillir cette belle couleur *bleue* dont nous avons parlé.

» Ces résultats, que j'ai montrés à différentes personnes, sont inconciliables avec ceux obtenus par sir John Herschel, sur cette même variété de *spath.* Ce physicien regarde la lumière bleue dispersée comme *uniquement épipolique,* « tellement qu'on pourrait la rapporter à une texture particulière de la surface résultant de la cristallisation, si elle ne paraissait également sur une surface taillée et polie artificiellement. »

» Si je devais hasarder une conjecture sur la cause de cette différence dans nos résultats, je l'attribuerais à la différence d'intensité de la lumière avec laquelle les observations ont été faites. Tandis que j'employais un faisceau *condensé* de lumière *solaire,* sir John Herschel faisait usage de la simple lumière du jour. En étudiant les phénomènes de la solution de quinine, il l'exposa « à la forte lumière du jour ou du soleil, » et dans une autre expérience qui exigeait nécessairement un puissant éclairage, « il fit tomber de haut en bas, sur la surface du cristal, un rayon solaire qui avait subi la réflexion totale contre la base du prisme, » et dont l'intensité était réellement inférieure à celle de la lumière du soleil. En parlant du fluor, il dit que la couleur épipolique est vue en perfection « lorsqu'on emploie la lumière du jour près d'une croisée. » Une lumière aussi faible m'aurait empêché de voir les phénomènes que j'ai décrits,

Digitized by Google

et c'est surtout l'intensité de celle que j'ai employée qui m'a permis d'établir, de la manière la plus positive, que la lumière bleue dispersée par le spath-fluor est réfléchie par toutes les parties de l'intérieur du cristal, et qu'elle n'est produite ni par une action absolument ou partiellement superficielle, ni par une tranche seulement située près de la surface.

» Sir John Herschel dit que le spath vert d'Alston-Moor est le seul solide dans lequel il ait observé une teinte épipolique. C'est le seul minéral dans lequel j'aie trouvé une dispersion intérieure; bien entendu que je ne parle pas des corps qui présentent des phénomènes analogues d'opalescence et de chatoiement; mais j'ai découvert différents verres qui la possèdent. Il en est un, en particulier, d'une teinte *jaune*, qui disperse aussi du *vert*, et un troisième *orangé*, qui disperse des rayons d'un *vert blanchâtre*. Dans ces différents cas, le verre a une couleur propre bien décidée; j'ai trouvé encore plusieurs échantillons de flint et de verres communs incolores, qui dispersent une magnifique couleur verte.

Sur la dispersion intérieure de la solution de sulfate de quinine.

» Sir John Herschel décrit la dispersion épipolique de cette solution comme « occupant un parallélogramme très-étroit, large d'environ 1/50 de pouce, teint d'un bleu vif et presque uniforme sur toute son étendue. » Mais, en faisant tomber perpendiculairement un rayon solaire sur la surface, il observa qu'une lumière bleue faible s'étendait au-dessous de cette ligne, à environ un demi-pouce plus bas, ce qui permettait de soupçonner qu'une petite partie de la dispersion a lieu dans l'intérieur du milieu à des profondeurs appréciables. L'emploi d'un rayon solaire concentré fait disparaître immédiatement toute hésitation, et montre que ce phénomène est produit par une dispersion intérieure, et ne diffère que par la loi de son intensité de ceux qui ont été décrits précédemment..... »

M. Brewster entre ici dans une discussion des expériences de l'illustre astronome anglais, et arrive aux conclusions suivantes :

« 1° Un rayon qui a été épipolisé, c'est-à-dire dispersé par l'action d'un solide ou d'un fluide, est capable de supporter une nouvelle dispersion, pourvu que l'épaisseur du milieu ne soit pas assez grande pour avoir dispersé tous les rayons qui peuvent l'être;

Digitized by Google

2° Lorsque le milieu est ainsi devenu incapable de disperser une plus forte quantité de lumière, ce n'est point parce qu'il a perdu une propriété qu'il possédait dans l'origine, mais parce qu'il a été privé de tous les rayons dispersibles qu'il renfermait.

» Cest sans doute un fait intéressant, qu'un petit nombre de rayons différemment colorés, et dont le mélange constitue de la lumière bleue, possèdent la faculté d'être dispersés, tandis que d'autres rayons, presque de même réfrangibilité, sont moins dispersibles, ou, en apparence, indispersibles par le même milieu. Mais l'anomalie disparaîtra en partie si on se reporte à certains phénomènes de dispersion qui offrent la même propriété.

» La différence entre l'*absorption* et la *dispersion intérieure* de la lumière ne réside qu'en ce que, dans le premier cas, la portion de lumière enlevée au faisceau introduit est *éteinte* et rendue *invisible*, tandis que, dans le second, elle est *dispersée* et *visible*. On peut comparer ces deux ordres de phénomènes, en *supposant* que la lumière éteinte par l'absorption devient visible par la dispersion. Or, il est à remarquer que la presque totalité de la lumière bleue, absorbée par l'orpiment natif, est éteinte pendant le passage du rayon à travers la première couche, dont l'épaisseur est plus petite qu'un cinquantième de pouce; ce qui explique pourquoi la plus mince lamelle de ce minéral a une teinte jaune presque aussi foncée que la plus épaisse. Si la dispersion pouvait faire voir les rayons bleus absorbés, on aurait un exemple d'épipolisme ou de dispersion confinée à la première couche, plus remarquable encore que celui de la solution de quinine.

» La ligne bleue de l'orpiment est produite essentiellement par les espaces violets, indigo et bleu, et en partie par le vert, le jaune, l'orangé et le rouge, tandis que celle de la solution de sulfate de quinine provient de portions presque égales des espaces colorés, le rouge excepté. La *limitation* des rayons capables d'être absorbés, comme celle des rayons dispersibles dans la solution, est mise en évidence par l'influence des différents corps sur le spectre. Ces corps changent la couleur de certains espaces du spectre, sans continuer à absorber les rayons restants; en d'autres termes, lorsque les rayons absorbables ont été détruits par une certaine épaisseur du corps, une épais-

Digitized by Google

seur additionnelle n'agit plus que très-faiblement, comme dans la solution de quinine, pour altérer la couleur du faisceau.

» J'ai indiqué ces analogies entre les phénomènes de l'absorption et de la dispersion, afin d'aborder le cas de la ligne bleue brillante des solutions de quinine. La dispersion produite dans le spath-fluor par la première couche est loin d'être très-considérable, et le faisceau introduit est dispersé presque aussi abondamment après qu'avant son passage à travers deux ou plusieurs couches, qui ne produisent pas de dispersion. Lorsque la dispersion intérieure a lieu dans les fluides colorés ou dans les solides, il devient intéressant d'examiner l'influence de l'absorption. Avant d'être dispersée, la lumière a la même couleur que celle qui entre; si elle devait émerger en ce point de sa course, et si on l'étudiait dans un azimut de 90°, on trouverait qu'une partie de la lumière dispersée possède cette couleur, et cette partie croîtrait avec l'azimut de 90° à 180°. Pour ne mettre en jeu aucune influence étrangère, il faut diriger le faisceau introduit parallèlement à la surface du liquide ou du solide, de manière qu'il ne fasse que le frôler. Par ce moyen, la lumière dispersée ne change pas de route pour atteindre l'œil après la dispersion. Lorsque le faisceau traverse le milieu coloré sans qu'on observe cette précaution, il subit encore une absorption proportionnelle à l'épaisseur de la substance qu'il traverse, et disparaît quelquefois entièrement. C'est ce qui se voit surtout dans les solutions foncées, qui dispersent un *rouge* ou un *vert* brillant; la couleur du premier devient *vert-jaunâtre* et *blanchâtre*, celle du second *jaune-blanchâtre*.

Sur la polarisation de la lumière dispersée.

» Comme la lumière dispersée est détournée de sa route par réflexion, et qu'elle se réfléchit sous des angles qui sont propres à la polariser, on pouvait prévoir qu'elle était au moins partiellement polarisée. Sir John Herschel l'ayant examinée à l'aide d'une tourmaline, n'aperçut aucun signe de polarisation. Mais la méthode que j'ai adoptée, et qui consiste à employer un mince faisceau cylindrique d'une lumière *intense*, m'ayant permis d'obtenir un faisceau dispersé brillant et long de plus d'un pouce, j'ai découvert qu'il est polarisé.

» En examinant le faisceau bleu d'une solution de quinine avec un

Digitized by Google

analyseur de spath d'Islande, j'y ai trouvé une portion considérable, formée principalement de la partie la moins réfrangible de ses rayons, qui est polarisée dans le plan de réflexion, tandis que les rayons les plus réfrangibles, qui forment le faisceau bleu très-intense, présentent une polarisation différente.

» L'isolement des rayons les plus bleus augmentait considérablement la beauté du phénomène, et promettait de jeter quelque lumière sur sa cause. Aussi étais-je désireux de déterminer leur état de polarisation, que l'analyseur n'indiquait pas.

» Dans ce but, je fis passer à travers la solution un éclatant faisceau de lumière polarisée, et je fus surpris de trouver que le rayon bleu, qui s'en séparait par dispersion, conservait la même intensité dans toutes les positions du précédent analyseur, et possédait par conséquent une polarisation *quaquaversus*, égale en tous sens, semblable à celle que la lumière acquiert lorsqu'on la transmet à travers un amas de petits cristaux à double réfraction, dont les axes sont placés dans toutes les directions possibles.

» En répétant cette expérience avec d'autres fluides et d'autres solides, j'en ai trouvé dans lesquels tout le faisceau est entièrement polarisé dans le plan de réflexion, et d'autres dans lesquels la polarisation est égale en tous sens. Mais comme ces expériences indiquent de nouveaux modes de décomposition et de polarisation de la lumière, je ferai de leur analyse le sujet d'une autre communication.

» Ayant transmis un faisceau concentré de lumière à travers une solution alcoholique de feuilles de laurier commun, ou de thé vert ou noir, j'ai trouvé que le faisceau *rouge brillant* qui est dispersé possède, comme le *bleu* de la solution de quinine, une polarisation en tous sens : une petite portion de lumière est polarisée dans le plan de réflexion. Le faisceau *vert*, dispersé par la préparation d'*orcine*, a les mêmes propriétés ; la portion blanche s'évanouit et reparaît par la rotation du rhombe analyseur. Dans une solution aqueuse d'*esculine*, le faisceau dispersé consiste en deux pinceaux dont le contraste est très-remarquable : l'un, *blanchâtre*, est polarisé dans le plan de réflexion ; l'autre, d'un *bleu très-foncé*, l'est dans tous les sens également. Ici, le pinceau blanc est plus intense que le bleu, ce qui est précisément l'inverse de ce que présente la solution de quinine. La solution alcoholique des graines de *colchique d'automne* produit un

Digitized by Google

faisceau *vert* brillant et abondant de lumière dispersée, qui consiste en deux pinceaux, l'un *blanchâtre*, polarisé dans le plan de réflexion; l'autre, d'un *vert brillant*, avec une polarisation en tous sens. La même propriété se retrouve dans la solution alcoholique du *gaïac*, qui disperse, surtout près de sa surface, un *violet* magnifique, et aussi dans une solution alcoholique de *sulfate de strychnine*, qui disperse une lumière *verte*, après qu'elle a été préparée depuis quelques jours. Enfin, elle se retrouve dans presque toutes les huiles, dont quelques-unes dispersent une lumière extrêmement belle, qui varie du vert pâle au bleu.

» La polarisation du faisceau dispersé dans le plan de réflexion se trouve dans un grand nombre de corps. Elle est très-marquée dans la bile du bœuf, qui disperse une lumière d'un gris olive; dans une solution alcoholique de myrrhe étendue d'eau, qui disperse un brillant faisceau blanc; enfin, dans un vert orangé, qui disperse un faisceau d'un vert pâle.

» Dans plusieurs solutions ou fluides, l'intensité du faisceau polarisé en tous sens est grande en comparaison du faible pinceau qui est polarisé dans le plan de réflexion. Cependant, dans un échantillon de verre jaune de Bohême, qui donne par dispersion un large et brillant faisceau vert, ce faisceau possède la polarisation égale en tous sens.

» Lorsqu'on examine le faisceau dispersé dans différents azimuts, on observe en général que sa couleur varie considérablement et passe entre les azimuts de 90° à 150°, à celle du faisceau transmis. Cet effet se voit très-bien avec la solution du thé dans l'esprit de vin; le *rouge brillant* devient *olive*. Le phénomène est encore plus remarquable dans un mélange de bleu de Prusse et d'eau : le faisceau dispersé est polarisé dans le plan de réflexion; il est bleuâtre dans l'azimut de 90°, rosâtre vers celui de 100°, verdâtre à 120°, bleuâtre à 150°, et redevient rosâtre à 170°. Ces trois dernières teintes peuvent s'observer simultanément.

» Tels sont les phénomènes généraux de la dispersion interne qui nous apprendront peut-être quelque chose sur la constitution des fluides et des solides dans lesquels elle prend naissance. La dispersion superficielle, apparente, de la solution de quinine, à laquelle sir John Herschel a donné le nom d'*épipolisme*, est évidemment un cas particulier du fait général dans lequel les ordonnées de la courbe de dis-

Digitized by Google

persion diminuent rapidement après que la lumière a pénétré dans la couche la plus rapprochée de la surface, tandis que l'épipolisme réel, qu'il attribue au spath-fluor, loin d'être une action superficielle, l'est encore moins que dans la solution de quinine, et présente des caractères entièrement semblables à ceux des effets produits par les fluides et les solides que j'ai examinés.

» Le phénomène de la dispersion intérieure, considéré seulement comme un cas de réflexion et de polarisation, présente de la nouveauté et de l'intérêt. En employant un faisceau entrant cylindrique, on voit, dans la même expérience, une réflexion et une polarisation cylindriques. Les innombrables surfaces réfléchissantes recevant ce faisceau sous tous les angles possibles, renvoient la lumière dans toutes les directions, de telle sorte que l'œil, placé comme on voudra, aperçoit le faisceau comme si celui-ci était lumineux par lui-même. Si l'œil tourne circulairement autour du faisceau cylindrique, il reçoit un faisceau de lumière polarisée dans un plan qui passe par l'œil et par l'axe du cylindre; ou, ce qui revient au même, mille spectateurs qui examinent ce faisceau dans le même azimut, mais sous des inclinaisons différentes relativement à l'horizon, verraient tous exactement les mêmes phénomènes de réflexion et de polarisation!

Sur les causes de la décomposition interne et de la dispersion de la lumière.

» Dans les cristaux imparfaitement cristallisés, tels que l'adulaire, le chrysobéryl, l'opale et le saphir, les opalescences bleue et colorée, ainsi que les astéries, sont produites par de petites cavités ou par des espaces creux dont les côtés sont cristallisés, ou par des tubes étroits, ou par des espaces linéaires parallèles aux arêtes de la forme primitive ou secondaire du minéral. Le tabasheer, dont les cavités renferment de l'air qu'on peut expulser et rendre à volonté, disperse une belle lumière bleue qui dépend sans doute de la dimension des cavités. Dans un échantillon remarquable de chaux carbonatée qui était rempli de veines hémitropes, j'ai observé une dispersion abondante, causée par la réflexion de la lumière sur différentes surfaces qui, bien qu'en contact optique, ont différents degrés de réfraction extraordinaire.

» Cependant tous ces phénomènes diffèrent essentiellement de ceux qui forment le sujet de ce mémoire, excepté ceux du spath-fluor,

Digitized by Google

en tant du moins qu'ils résultent d'une cristallisation imparfaite. L'épipolisme que sir John Herschel attribue à ce minéral, ou sa dispersion intérieure, suivant mes expériences, n'appartient pas à l'espèce, mais à des variétés particulières, et même seulement à certaines parties de celles-ci. C'est le résultat d'une cristallisation inégale ou imparfaite. Sur un noyau parfait un revêtement arrive qui a une teinte différente par réfraction, et qui disperse une belle lumière bleue; puis une succession de couches se déposent, qui dispersent des couleurs différentes, et qui sont séparées par des espaces ne dispersant pas. Ainsi, un élément étranger, dépendant de l'état de la solution, a été successivement introduit dans le cristal. S'il avait les mêmes pouvoirs réfringent et dispersif que le fluor, il ne réfléchirait aucune portion du faisceau introduit. Mais s'il y a la moindre dissemblance dans la réfraction moyenne, ou si la différence consiste simplement dans une longueur inégale de certaines portions des deux spectres, alors l'élément étranger dispersera de la lumière. Par exemple, si l'on place une mince couche d'huile de cassia entre deux prismes de flint, on trouve que la lumière réfléchie par cette couche est bleue. L'indice de réfraction de quelques-uns des rayons rouges étant le même dans le verre que dans l'huile, aucun d'eux ne se trouve dans le pinceau réfléchi qui, par conséquent, demeure bleu sous toute incidence. Supposons maintenant que cette couche se solidifie, et qu'elle se dissémine en un nombre infini de petits atomes à travers le flint-glass ou un fluide qui ait la même action que lui sur la lumière, et nous aurons le phénomène de la dispersion bleue. Tel est, en fait, l'état de la solution du bleu de Prusse.

» Un faisceau de lumière bleue ainsi produit devrait être polarisé totalement sous l'angle de polarisation, et partiellement sous d'autres angles; et, si tel n'est pas son état, il faut chercher quelles causes l'ont modifié. Nous avons déjà vu que, dans le verre jaune de Bohême, il n'y a pas de lumière polarisée par réflexion, et que, dans la solution de quinine, une partie seulement est ainsi polarisée; le pinceau total dans le premier cas, et le pinceau résidu dans le second, présentent la polarisation *quaquaversus*. Cet effet ne peut résulter d'une polarisation opposée à une réfraction de la lumière dispersée sur les surfaces des particules réfléchissantes, car une telle action ne ferait que diminuer la valeur absolue de la polarisation par réflexion; de plus, l'expérience directe, exécutée en faisant passer la

Digitized by Google

lumière bleue à travers différentes épaisseurs du fluide, prouve que les choses se passent autrement. Aussi, à moins de supposer que *cette polarisation*, égale en tous sens, constitue une nouvelle propriété de la lumière résultant d'une action spéciale de certains corps solides et fluides, nous sommes conduits à cette conclusion non moins remarquable qu'elle *est produite par un nombre infini de cristaux à double réfraction, dont les axes optiques sont dirigés de toutes les manières possibles, et dont les surfaces postérieures réfléchissent un pinceau lumineux, doué de la polarisation* quaquaversus. »

Nous ne discuterons pas ce curieux ensemble de faits trop imparfaitement définis ; mais nous croyons utile de reproduire la note suivante de M. Dupasquier, qui a la plus grande analogie avec le mémoire de sir David Brewster : c'est évidemment un cas très-général de dispersion intérieure.

PHYSIQUE. *Mémoire sur la lumière bleue, transmise par une feuille d'or. Généralité de ce phénomène observé avec tous les corps opaques*, par M. ALPH. DUPASQUIER.

« Quand la lumière traverse une feuille d'or battu, on sait qu'elle prend une couleur bleue très-prononcée, phénomène considéré jusqu'à présent comme caractéristique à l'égard de ce métal ; car on le remarque en effet également lorsque l'or, précipité chimiquement dans un liquide, y reste quelque temps à l'état de suspension.

» L'observation accidentelle de quelques faits isolés m'a d'abord conduit à reconnaître que ce phénomène n'est pas spécial à l'or ; plus tard, l'expérimentation m'a donné la certitude qu'il est général aux corps opaques ; qu'il se produit avec plus ou moins d'intensité, toutes les fois que la lumière traverse un métal réduit à l'état de feuilles extrêmement minces, ou un corps quelconque considéré comme opaque, lorsque, dans un grand état de division, ce corps se trouve retenu quelque temps à l'état de suspension, soit dans un liquide, soit dans une vapeur, soit dans un gaz incolore. J'ai reconnu également, par de nombreuses expériences, que ce phénomène est indépendant de la nature du fluide où s'opère la précipitation, et qu'il se manifeste d'ailleurs, quelle que soit la couleur du corps solide, se précipitant à l'état de particules extrêmement ténues. La transparence ou la translucidité même imparfaite des corpuscules, suspendus en

Digitized by Google

grand nombre dans un fluide, m'a paru seule être un obstacle à la production de ce phénomène.

» Avant de rechercher la cause de cette coloration uniforme, développée par tous les corps opaques dans un état d'atténuation extrême, il est indispensable d'indiquer les observations et les expériences qui m'ont démontré la généralité de ce phénomène, afin qu'on puisse les vérifier et s'assurer de l'exactitude de leurs résultats. C'est ce dont je vais m'occuper.

Manière de procéder à l'expérimentation.

» Pour bien reconnaître cette coloration bleue ou bleuâtre, il faut se placer dans un lieu un peu obscur, et dans lequel la lumière diffuse arrive par une ouverture plus élevée que la tête de l'observateur. Alors, interposant, par exemple, une feuille métallique entre l'œil et la lumière, on aperçoit, avec plus ou moins de vivacité et de pureté, le phénomène de la coloration bleue, suivant que l'atténuation de la feuille métallique, en raison de la malléabilité du métal, se trouve plus ou moins parfaite. En effet, si le phénomène est plus tranché avec les feuilles d'or, c'est principalement parce que ce métal, le plns malléable de tous, fournit des feuilles d'une ténuité et d'une égalité de structure bien supérieure à ces mêmes qualités, observées dans les feuilles obtenues avec d'autres métaux. Toutefois, je dois faire remarquer que la couleur du corps n'est pas sans quelque influence sur la production du phénomène. Toutes choses égales d'ailleurs, les substances jaunes, jaunes-rougeâtres ou rouges, communiquent aux liquides dans lesquels elles se trouvent suspendues une couleur bleue plus intense que celle obtenue par les substances autrement colorées, ce qui semble indiquer le développement de la couleur complémentaire, si bien observée par M. Chevreul. Les métaux et les composés métalliques gris de fer développent aussi avec intensité cette coloration bleue. Toutefois il en est un assez grand nombre qui le produisent d'une manière assez tranchée pour donner la certitude que les corps blancs ne font point exception à la loi générale que j'ai observée.

M. Dupasquier entre ensuite dans le détail de ses expériences. Il a constaté la dispersion de la lumière bleue avec des feuilles d'argent, de cuivre, d'or vert; avec l'argent et le mercure précipités, l'anti-

Digitized by Google

moine, le bismuth, l'arsénic en poudre, avec un très-grand nombre de sulfures, d'arséniures, d'oxydes, de sels, etc.

» Dans les expériences où l'on procède, comme on l'a dit, en délayant dans un liquide le corps, en poudre très-fine, sur lequel on veut expérimenter, on ne distingue pas d'abord la couleur bleue, car la lumière se trouve interceptée en presque totalité; ce n'est qu'après la chute des particules les plus grossières que le phénomène devient apparent. En général, on réussit d'autant mieux que le corps a été plus finement divisé. Il ne faut pas employer une trop grande quantité de matière, car alors il se forme un dépôt sur les parois du verre, lequel dépôt devient un obstacle à la réussite de l'expérience, à moins cependant qu'on ne le fasse tomber au fond du verre par une légère agitation. Je dois faire remarquer, toutefois, qu'un léger dépôt formé sur les parois du verre produit quelquefois lui-même la coloration bleue. Si le corps en suspension est très-lourd et le liquide qui le contient très-léger, il peut arriver que la précipitation complète soit trop rapide pour qu'on ait le temps d'observer le phénomène indiqué; dans des cas de cette nature, je réussissais à le développer, en augmentant la viscosité du liquide par une substance qui s'y dissolvait rapidement. Pour l'eau, je me servais de gomme arabique; pour l'alcool ou pour l'éther, d'une matière résineuse incolore, ou d'une substance grasse. »

M. Dupasquier ajoute :

« Beaucoup de précipités blancs présentent une coloration bleuâtre, mais généralement assez faible. Des substances organiques incolores peuvent même présenter ce phénomène : ainsi, par exemple, l'oxamide, qui se dissout en petite quantité dans l'eau bouillante, si on le laisse précipiter par refroidissement, après avoir filtré la solution, présente une nuance bleuâtre assez sensible.

» Je borne là l'indication de mes expériences, quoique j'en aie fait un bien plus grand nombre; je pense que celles que je viens de citer suffiront pour convaincre de la généralité du phénomène décrit, phénomène qui n'était attribué qu'à l'or seul.

» Quant à la cause du développement de la couleur bleue dans les expériences qui viennent d'être indiquées, tient-elle à ce que les particules des corps dits opaques, très-divisés, ne se laissent traverser

Digitized by Google

que par les rayons bleus de la lumière, ou à ce que ces mêmes rayons, par l'effet d'une réfraction, glissent seuls entre les particules tenues en suspension ? C'est là une question qu'il appartient aux physiciens de résoudre. En étudiant ces intéressants phénomènes, ils auront à rechercher aussi si les observations que je viens de présenter ne peuvent pas expliquer certaines colorations bleues que nous présente la nature, celle des glaciers, par exemple, qui pourrait être due à leur état de granulation, et celle des lacs, qui pourrait peut-être avoir pour cause des particules hétérogènes très-subtiles, tenues en suspension dans une masse d'eau d'une grande épaisseur, etc.

» Pour moi, j'ai seulement étudié ce phénomène de bleuissement en chimiste, et n'ai voulu que démontrer qu'une coloration, indiquée comme caractère spécial de l'or, pouvait être produite, avec plus ou moins d'intensité, il est vrai, par tous les corps dits opaques ; qu'elle était indépendante de la nature spécifique de ces corps, et constituait par conséquent un phénomène général. »

FIN DE LA TROISIÈME PARTIE.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Préface.

SECTION HUITIÈME. — DE LA LUMIÈRE CONSIDÉRÉE DANS SON ACTION SUR DES APPAREILS AUTRES QUE L'ŒIL, SUR DES SUBSTANCES DIFFÉRENTES DE LA RÉTINE. — DE LA NATURE PLUS INTIME DU SPECTRE SOLAIRE; DES DIVERS RAYONS CALORIFIQUES CHIMIQUES, PHOSPHOROGÉNIQUES; DES PRÉTENDUS RAYONS MAGNÉTIQUES, ETC. — DE L'ACTION DU MAGNÉTISME SUR LA LUMIÈRE. — DE L'ACTION DE LA LUMIÈRE SUR LES PLANTES. — *Suite.* 897

Brillante découverte de M. Niepce de Saint-Victor. — Nouvelles propriétés de l'iode et des vapeurs; l'iode s'attache aux noirs d'une gravure, à l'exclusion des blancs, et aux arrêtes, à l'exclusion des faces planes..... 897 et 898

IMAGES THERMOGRAPHIQUES OU PRODUITES PAR LA CHALEUR..... 898

Premières expériences de M. Knorr. — Lettre à M. Arago..... 898

Images obtenues par M. Massig, sur des plaques de métal chauffées..... 899

Seconde note de M. Knorr. — Proposition générale sur l'échange des températures et la production des images..... 901

Méthodes diverses..... 903

Troisième note de M. Knorr..... 904

Art de la thermographie, par M. Robert Hunt..... 905

Prétendues images de chaleur, par M. Moser..... 910

IMAGES ÉLECTROGRAPHIQUES..... 911

Expériences anciennes de M. Riess..... 911

Première note de M. Karsten..... 913

Seconde note de M. Karsten..... 919

Vraie nature des images électriques..... 921

Critique de M. Moser. — Images galvaniques..... 924

Sur les taches de Priestley, par M. Matteucci..... 925

Images de M. Masson..... 925

Formation électrique des images de Moser, par M. Morren..... 928

Coloration par l'électricité, et nouvelles empreintes électriques, par M. A. Pinaud..... 932

Nouvelles recherches de M. Riess..... 936

Nouvelle production des images de Moser, par M. Bertot..... 939

Image de Moser, célèbre..... 941

Digitized by Google

Pages.

Travaux de M. Draper. — Premier mémoire. — Effets chimiques des rayons solaires..... 942
Second mémoire. — Analogie entre les effets causés par les rayons chimiques et calorifiques..... 942
Troisième mémoire. — Apparences lumineuses et lumière latente. — Réclamation de priorité..... 944
Quatrième mémoire. — Nouvelle substance impondérable, rayons tithoniques..... 944
Cinquième mémoire. — Espaces tithonographiques, sans action chimique..... 945
Sixième mémoire. — Tithonotype..... 945
Septième mémoire. — Nouvelles propriétés des corps par leur exposition au soleil..... 946
Huitième mémoire. — Décomposition de l'acide carbonique sous l'influence de la lumière..... 948
Neuvième mémoire. — Action du spectre produit par interférence ; absorption des rayons chimiques..... 948
Dixième mémoire. — Allotropie du chlore..... 951
Onzième mémoire. — Différence entre les diverses sortes de lumière..... 953
Douzième mémoire. — Rayons négatifs ou protecteurs. — Discussion entre MM. Fizeau, Foucault, Ed. Becquerel, Le Rebours, Claudet, Gaudin.....954 à 964
Treizième mémoire. — Production de la lumière par la chaleur. — Réfutation de M. Brewster..... 964
Changements chimiques opérés par la lumière, mémoire de M. Hunt..... 973
Rayons phosphorogéniques. — Phosphorescence..... 976
Divers modes d'excitation de la phosphorescence..... 977 à 980
Phosphores artificiels..... 981
Phosphores naturels. — Phosphorescence spontanée..... 982
Phosphorescence de la mer..... 985
Phosphorescence des pluies d'orage..... 986
Teintes diverses de la lumière phosphorescente..... 986
Portion phophorogénique du spectre..... 987
Observations de M. Becquerel..... 989
Causes de la phosphorescence : Wilson, Dessaignes, Dufay, Beccaria, Seebeck, Ritter, Goethe, Grotthuss, Pearsal, Becquerel, Biot et Riess..... 992 à 1005
Rayons magnétiques du spectre. — Électricité et magnétisme excités par la lumière..... 1006

Digitized by Google

Pages.

Expériences de Morichini, Volta, Gay-Lussac, Babini, Ridolphi, d'Hombres-Frimas, madame de Sommerville, Christie, Walt, Barlocci, Riess, Moser, Baumgartner, Zantedeschi..... 1009
Expériences de MM. Matteucci et Becquerel..... 1012
Conclusions. — Résultat négatif..... 1013
Magnétisation de la lumière et illumination des lignes de forces magnétiques, par Faraday..... 1015
Action des aimants sur la lumière ; rotation du plan de polarisation..... 1016
Action des courants électriques sur la lumière..... 1022
Considérations générales..... 1027
Nouvelles expériences de M. Faraday..... 1033
Essais de MM. Pouillet, Ed. Becquerel et Böttger..... 1036 à 1037
Recherches et thèse de M. Bertin..... 1040
Expérience de M. Wartman ; rotation du plan de polarisation de la chaleur..... 1049
Appareil de M. Ruhmkorff..... 1050
Expériences de M. Mathiessen..... 1051
Note de M. Mosotti. — Rétractation ; amende honorable à M. Faraday..... 1056
Classification des phénomènes; nos expériences ; nouvelle presse de Fresnel construite par M. Soleil..... 1059
Action du magnétisme sur la chaleur ; note de MM. de la Provostaye et P. Desains.. — Nouvelle action magnétique dans ses rapports avec la lumière et les axes optiques des cristaux. — Découvertes de M. Plücker..... 1064
Attraction ou répulsion de l'axe optique, suivant que le cristal est attiré ou repoussé..... 1070
Application à la minéralogie..... 1074
Orientation des cristaux par l'action de la terre..... 1076
Action des aimants sur la formation des cristaux..... 1078
Rapports de la polarité électrique avec la lumière et la chaleur ; découverte de M. Neef de Francfort. — Chaleur au pôle positif, lumière au pôle négatif..... 1080 à 1083
Note de M. Matteucci..... 1084
Critique, nos expériences..... 1088
Incandescence au sein des liquides ; mémoires du R. P. Maas.. 1089
Action de la lumière sur les plantes. — Rayons excitateurs de la végétation..... 1095
Énoncés généraux..... 1095
Travaux de M. Payen. — Tendance des tiges vers la lumière..... 1096

Digitized by Google

Pages.

Rapport de M. Becquerel. — Critique de M. Dutrochet, ses expériences..... 1099
Réponse de M Payer..... 1103
Tendance des racines à fuir la lumière..... 1104
Rapport de M. Dutrochet ; ses expériences..... 1106
Influence des rayons colorés sur la végétation, par M. Zantedeschi. — Rapport de M. Dutrochet..... 1117
Expériences de Carradori, Poggioli..... 1117 à 1122
Recherches de M. Gardner. — Action sur les plantes de la lumière jaune et de la lumière indigo..... 1122
Note du Rédacteur de la *Bibliothèque universelle*..... 1126
Recherches de M. Hunt. — De l'influence de la lumière sur la germination et la végétation..... de 1128 à 1130
Recherches de M. Draper. — Influence des rayons jaunes..... 1131
Thèse de M. Durand, de Caen. — Recherche et fuite de la lumière par les plantes..... 1132 à 1146
Causes de ces phénomènes..... 1142
Notre hypothèse. — Note confirmative de M. Gardner..... 1145
Curieuse observation de M. Niepce de St-Victor..... 1146
COMPLÉMENT DU RÉPERTOIRE D'OPTIQUE. Travaux de 1847, 1848, 1849..... 1147
Nature de la lumière, hypothèses qu'elle a fait naître. — Idées sur les vibrations des rayons lumineux, par M. Faraday..... 1147
Remarques critiques de M. Airy..... 1154
Propagation et vitesse de la lumière. — Expérience relative à la vitesse de propagation de la lumière, par M. Hyppolite Fizeau.. 1159
Heureuse rencontre de M. l'abbé Laborde..... 1162
Influence de la vitesse de la lumière sur la couleur des astres ; de la vitesse des ondes sonores sur le ton du son, par M. Ch. Doppler..... 1165 à 1181
Observations sur la théorie de M. Doppler, par le docteur Bolzano..... 1182
Expériences relatives à cette théorie, faites à Utrecht, par M. Buijs-Ballot..... 1185
Réponse de M. Doppler..... 1189
Expériences confirmatives de M. Scott-Russell..... 1195
Expériences confirmatives de M. H. Fizeau..... 1197
Nos objections et nos remarques critiques..... 1199
Réflexion de la lumière..... 1203
Réfraction, décomposition, dispersion de la lumière, chromatique. 1204
Critique de la nouvelle analyse du spectre polaire de M. Brewster, par M. Airy..... 1204

Digitized by Google

Pages.
Réponse de sir D. Brewster. 1207
Réponse de sir D. Brewster à M. Draper..... 1210
Réponse de sir D. Brewster à M. Melloni..... 1211
Nos conclusions au sujet de cette controverse..... 1215
Nouvelles raies longitudinales du spectre, mémoires de M. Wartman..... 1217
Extrait du mémoire de M. Zantedeschi..... 1220
Observations de M. Ragona-Scina..... 1223
Observations contraires de MM. Knoblauch et Karsten..... 1224
Note de M. Crahay 1227
Observations de M. C. Kühn..... 1229
Nos conclusions..... 1231
Causes des raies longitudinales, notes de M. Zantedeschi..... 1232
Retraite de M. Wartman..... 1233
Production de la lumière par action chimique ; mémoire de M. Draper..... 1234
Lignes sombres et brillantes des vapeurs et des gaz, par M. Miller..... 1237
Nos remarques critiques. — Observations de M. Foucault..... 1241
Indice de réfraction des raies fixes du spectre, par M. Powell. ... 1243
Décomposition prismatique des couleurs d'interférences, par M. Müller..... 1247
Second mémoire de M. Müller sur le même sujet..... 1254
Décomposition prismatique des couleurs de divers fluides, par M. Müller..... 1258
Réponse aux objections de M. Erman..... 1263
Sur les spectres des réseaux de Fraunhofer et analyse de leur lumière, par M. Mosotti..... 1265
Classification des couleurs, par M. Forbes..... 1272
Chromascope de M. Soleil, usage excellent de ce petit appareil. 1279
De l'existence de la couleur brune, par M. Brücke..... 1282
Décomposition et dispersion de la lumière dans l'intérieur des corps solides et fluides, par sir D. Brewster... 1283
Polarisation de la lumière dispersée. 1288
Causes de cette dispersion..... 1291
Mémoire sur la lumière dispersée par les corps opaques. — Note de M. A. Dupasquier..... 1293

Paris. — Typographie de Wittersheim, 8, rue Montmorency.

Bayerische Staatsbibliothek München

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google